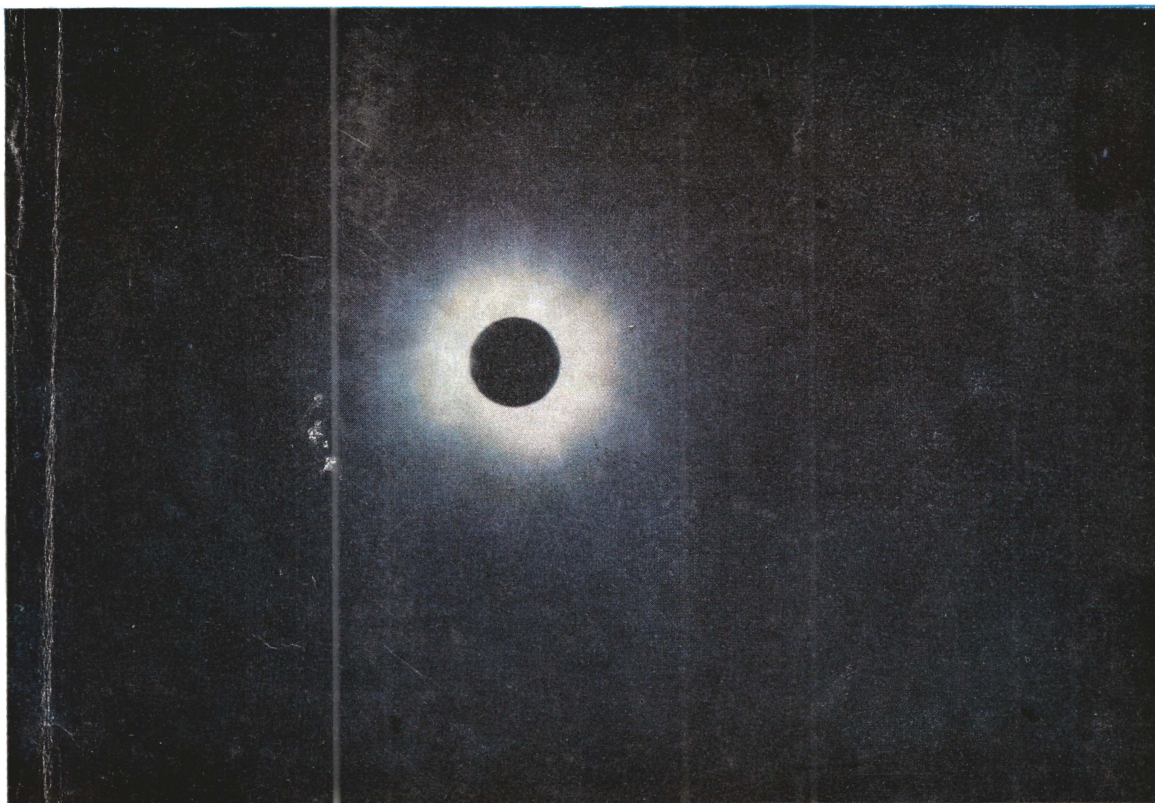




ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

1

1969

АСТРОНОМИЯ

ГЕОФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА



Триумфальное достижение советской науки и техники



Летчики-космонавты (слева направо): Евгений Хрунов, Владимир Шаталов, Борис Воынов и Алексей Елисеев на территории Московского Кремля

Фото В. Черединцева
(Фотохроника ТАСС)

14—15 января 1969 г. на орбиту искусственного спутника Земли были выведены космические корабли «Союз-4» и «Союз-5». Стартовый комплекс обеспечил четкую и надежную предстартовую подготовку и запуск космических кораблей. Системы управления ракетами-носителями осуществили точное выведение кораблей на расчетные орбиты.

После выполнения программы научно-технических исследований и экспериментов космические корабли «Союз-4» — 17 января и «Союз-5» — 18 января 1969 г. возвратились на Землю с экипажами в составе: командиров В. А. Шаталова и Б. В. Воынова, бортинженера А. С. Елисеева и инженера-исследователя Е. В. Хрунова.

В ходе группового полета космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» был осуществлен ряд важнейших научно-технических экспериментов. На орбите искусственного спутника Земли была создана и функционировала первая экспериментальная космическая станция. Станция включала четыре жилых отсека, обеспечивающих выполнение большого комплекса научных исследований, наблюдений и экспериментальных работ. Параметры микроклимата в отсеках — давление, температура, влажность и газовый состав атмосферы — соответствовали земным условиям. Между отсеками станции была установлена телефонная связь. При стыковке и создании станции были проверены в действии и показали высокую надежность системы автоматического и ручного управления сближением, причаливанием и стыковкой.

Выдающимся экспериментом является переход двух космонавтов — инженера-исследователя Е. В. Хрунова и бортинженера А. С. Елисеева — из одного корабля в другой с выходом в космическое пространство.

Космонавты Е. В. Хрунов и А. С. Елисеев в специальных скафандрах находились в условиях космического пространства около одного часа. В открытом космосе они выполнили ряд монтажных операций, кино- и фотосъемочных работ, научных наблюдений и экспериментов. Космические скафандры, снабженные новой автономной системой жизнеобеспечения регенерационного типа, создали необходимые условия для нормальной деятельности человеческого организма в открытом космосе.

Выполнен большой объем научных исследований, экспериментов и наблюдений. В частности, отрабатывались принципы космической навигации, проводились наблюдения характерных геолого-географических образований земной поверхности, облачного и снежного покрова Земли, велось исследование яркости Земли и звезд, обнаружение циклонов и тайфунов. По широкой программе проводились медико-биологические исследования влияния условий космического полета на человеческий организм.

Результаты полета космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» имеют важное значение для дальнейшего развития пилотируемых полетов и создания орбитальных пилотируемых станций научного и народнохозяйственного назначения.

ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год



ЯНВАРЬ — ФЕВРАЛЬ

1 1969

Издательство «Наука»
Москва

В НОМЕРЕ

А. С. Монин — Глобальная атмосферная исследовательская программа	4
В. Г. Курт — Современные представления об атмосфере Венеры	10
В. И. Баранов — Возраст тел солнечной системы	22
А. В. Ильин — Подводная окраина в Атлантическом океане	30
К. Торн — Гравитационный коллапс	40
О. Д. Докучаева — Фотография в астрономии	49

ЛЮДИ НАУКИ

И. Л. Кайдановский — <u>Семен Эммануилович Хайкин</u>	57
Ю. П. Псковский — Вальтер Бааде [к 75-летию со дня рождения]	60

ЭКСПЕДИЦИИ

И. О. Мурдмаа — Рождение и гибель острова Метис	63
---	----

ДИСКУССИИ, ГИПОТЕЗЫ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Ю. К. Филиппов — Каналы Марса — сеть жизни?	70
В. В. Базыкин — Как растет число искусственных спутников Земли	74

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Р. М. Баренбойм — Сферическая астрономия в средней школе	79
--	----

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Н. Н. Михельсон — Любителям астрономии — о телескопах. IV	81
Странички наблюдателя	86

КОСМИЧЕСКАЯ ФИЛАТЕЛИЯ

В. А. Орлов — Радиоастрономия в филателии	93
---	----

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

Книги 1969 года о Земле и Вселенной	95
---	----

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Очередные этапы советской космической программы [3]; Математическая модель Земли [9]; Радиокарта Венеры [19]; Каково давление атмосферы на Марсе! [20]; Симпозиум по физике Луны и планет [21]; Шкала относительных возрастов для лунных кратеров [28]; О нейтронных звездах [28]; Солнце 17 августа 1968 г. [28]; Громкоговоритель... регистрирует морские волны [29]; Оранжевый дождь [29]; Гидрофоны в кабеле [29]; Гвинейский поток [29]; Наблюдения полного солнечного затмения 22 сентября 1968 г. [68]; Полет «Аполлона-7» [78].

На обложке: 1-я стр. Цветная фотография солнечной короны получена В. В. Полонским во время полного солнечного затмения 22 сентября 1968 г.

Обломок пемзы с подводной вершины вулкана Метис (к статье И. О. Мурдмаа).

4-я стр. Эта цветная фотография галактики в созвездии Гончих Псов получена Х. Эйблесом и Д. Кристи, сотрудниками Морской обсерватории во Флагстаффе, США (к статье О. Д. Докучаевой).

Приближается 100-летие со дня рождения В. И. Ленина

В апреле 1970 года Коммунистическая партия, советский народ, трудящиеся всех стран мира будут отмечать 100-летие со дня рождения Владимира Ильича Ленина.

С именем Ленина неразрывно связана вся современная история. Ленин — гениальный продолжатель революционного учения Маркса и Энгельса, основатель Коммунистической партии Советского Союза, вождь величайшей социальной революции и строитель первого в мире социалистического государства. Ленинские идеи оказали и продолжают оказывать глубочайшее воздействие на весь ход мирового развития.

Ленин вошел в историю как гениальный теоретик пролетарской революции и социалистического преобразования общества. Он органически соединил в себе мудрость мыслителя и опыт народной жизни, блестящее знание марксистской теории и понимание насущных потребностей рабочего движения.

В трудах Владимира Ильича получили дальнейшее обогащение и конкретизацию все составные части марксизма — философия, политическая экономия, научный коммунизм.

Ленин бескомпромиссно отстаивал позиции диалектического и исторического материализма, дал глубокое философское обобщение новейших естественнонаучных открытий, обогатил общественную мысль новыми выводами, получившими блестящее подтверждение в общественной практике, успехах современной науки. Бесценные страницы ленинских трудов сохраняют свою актуальность и в наши дни. Ленинизм — теоретическая основа решения сложнейших вопросов революционной борьбы и строительства нового общества.

Ленин вошел в историю как величайший вождь пролетарской революции, как создатель и руководитель большевистской партии — авангарда рабочего класса, партии нового типа, партии социалистической революции и диктатуры пролетариата, партии строительства социализма и коммунизма, высшей формы общественно-политической организации.

Ленин вошел в историю как основатель и руководитель первого в мире социалистического государства — государства рабочих и крестьян.

Ленин вошел в историю как признанный вождь мирового пролетариата, международного коммунистического движения.

Ленин вошел в историю как пламенный борец за свободу и счастье трудящихся.

Наша партия, наш народ, закаленные в революционных битвах, в борьбе за построение нового общества, преисполнены непоколебимой решимости неуклонно выполнять великие заветы своего вождя и учителя — Владимира Ильича Ленина.

Будем и дальше работать и жить по-ленински, созидая прекрасный памятник Владимиру Ильичу — здание коммунизма, великое и достойное воплощение его бессмертных идей. Еще теснее сплотим наши ряды! Больше упорства и самоотверженности, дисциплины и организованности! Больше творческой инициативы на всех участках коммунистического строительства! Выше революционное марксистско-ленинское знамя борьбы за коммунизм!

(Из Постановления ЦК КПСС «О подготовке к 100-летию со дня рождения Владимира Ильича Ленина»)



ОЧЕРЕДНЫЕ ЭТАПЫ СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ

«ЗОНД-6» НА ТРАССЕ ЗЕМЛЯ—ЛУНА—ЗЕМЛЯ

10 ноября 1968 г. в 22 часа 11 минут 30 секунд московского времени был осуществлен запуск автоматической станции «Зонд-6», которая вместе с последней ступенью ракеты-носителя была сначала выведена на орбиту спутника Земли. В 23 часа 18 минут 30 секунд по команде от бортовой системы управления был включен ракетный двигатель последней ступени носителя для разгона станции до скорости, близкой ко второй космической. При достижении расчетной величины скорости, необходимой для полета к Луне, двигатель был автоматически выключен, и космическая станция отделилась от последней ступени носителя.

12 ноября в 8 часов 41 минуту для обеспечения пролета станции на заданном расстоянии от Луны была проведена коррекция траектории. В результате коррекции «Зонд-6», продолжая полет по траектории, облетел Луну на заданном расстоянии от ее поверхности, равном 2420 км.

16 ноября в 9 часов 40 минут после облета Луны для устранения возмущений, вызванных ее гравитационным полем, была проведена вторая коррекция траектории. 17 ноября в 8 часов 36 минут была проведена третья коррекция траектории, обеспечившая попадание спускаемого аппарата в заданный коридор входа в атмосферу Земли (диаметр коридора входа всего около 10—12 км).

При подлете станции к Земле на борт ее были переданы исходные данные для осуществления

режима спуска. В эксперименте со станцией «Зонд-6» впервые проверялся более сложный и перспективный метод возвращения космических аппаратов с межпланетных траекторий и метод управляемого спуска с использованием аэродинамической подъемной силы (аэродинамического качества) спускаемого аппарата.

Спускаемый аппарат станции «Зонд-6» 17 ноября 1968 г. в 16 часов 58 минут вошел в плотные слои атмосферы. Торможение спускаемого аппарата станции «Зонд-6» в атмосфере Земли проходило по траектории с двумя погружениями в атмосферу. При первом погружении спускаемого аппарата вторая космическая скорость (11,2 км/сек) была снижена за счет аэродинамического торможения до 7,6 км/сек. При этом с помощью бортовой системы управления спускаемый аппарат был сориентирован так, что, пройдя сквозь плотные слои атмосферы, вышел из них и далее продолжал полет по баллистической траектории до второго погружения в атмосферу. На втором участке погружения дальнейшее снижение спускаемого аппарата также проходило по траектории управляемого спуска с использованием аэродинамического качества. Это обеспечило возвращение аппарата на Землю в заданный район и с меньшими перегрузками. На высоте 7,5 км при скорости 200 м/сек была включена парашютная система, и аппарат приземлился.

Во время полета станции «Зонд-6» были решены важные научные задачи (исследование радиационной обстановки на трассе полета, регистрация метеорных частиц, фотографирование Луны с высоты от 10 до 3,5 тыс. км от лунной поверхности и доставка на Землю уникальной

фотопленки и др.). Успешный полет станции «Зонд-6» свидетельствует о ее высоком техническом совершенстве. Намеченные задачи автоматической станции выполнены. В Советском Союзе сделан очередной важный шаг в осуществлении программы освоения и изучения космического пространства и Луны.

«ПРОТОН-4» — КРУПНЕЙШАЯ В МИРЕ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Автоматическая научная космическая станция «Протон-4» выведена на околоземную орбиту (апогей 495 км, перигей 255 км, наклонение 51°30', период обращения 91,75 минуты) 16 ноября 1968 г. Общий вес полезного груза, выведенного на орбиту (без последней ступени ракеты-носителя), составляет около 17 т. Вес научной аппаратуры 12,5 т. «Протон-4» предназначен для дальнейших исследований, начатых на научных станциях «Протон-1», «Протон-2», «Протон-3». В программу научных исследований включено исследование природы космических лучей высоких энергий (до 10^{13} — 10^{14} эв) и их взаимодействия с атомными ядрами. Одна из интересных и важных научных задач — поиск кварков (гипотетических частиц с дробным электрическим зарядом) в первичных космических лучах.

Новый эксперимент на «Протон-4» внесет существенный вклад в изучение космических лучей.

ГЛОБАЛЬНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПРОГРАММА

А. С. МОНИН
профессор

Статья знакомит читателей с содержанием проекта, предложенного учеными многих стран для совместного изучения атмосферы нашей планеты.

Около 25 лет назад передовые ученые-метеорологи установили, что долгосрочные изменения погоды глобальны, т. е. охватывают всю атмосферу Земли. Этот тезис всегда был одной из основ гидродинамической теории долгосрочных прогнозов погоды, развиваемой в нашей стране членом-корреспондентом Академии наук СССР Е. Н. Блиновой.

Понять этот тезис нетрудно, если, во-первых, исходить из того, что «долгими» разумно

называть сроки, большие по сравнению с типичными «временами жизни» индивидуальных синоптических образований — циклонов и антициклонов, т. е. превосходящие 1—2 недели, и, во-вторых, если принять во внимание, что за такие сроки все части атмосферы успевают вступить во взаимодействие друг с другом. Быстрые взаимодействия в атмосфере осуществляются в форме распространения внутренних гравитационных волн



*Член-корреспондент АН СССР
Е. Н. Блинова*

со скоростями порядка скорости звука (340 м/сек), так что эти волны способны облетать вокруг Земли за 36 часов. Перемещения масс воздуха в основной толще атмосферы происходят в 10—30 раза медленнее, но и при этом для осуществления глобальных взаимодействий достаточно лишь немногих недель.

Но если долгосрочные изменения погоды глобальны, то и наблюдать их в целях изучения и прогнозирования надо в глобальных масштабах, на всей Земле в целом. Между тем, сегодня мы имеем сеть метеорологических станций, обеспечивающих непрерывные инструментальные наблюдения за погодой в течение долгих сроков лишь на части территории материков, и практически не имеем их в океанах (если не считать нескольких закоренных «кораблей погоды»). Это дает нам возможность непрерывно наблюдать лишь около 15% атмосферы. Результаты таких наблюдений совершенно недостаточны для изучения и тем более для прогнозирования глобальных процессов. Отсюда следует, что для создания возможностей надежного прогнозирования погоды на долгие сроки необходимо **организовать** глобальное наблюдение атмосферы. Какие же метеорологические элементы надо при этом измерять, с какой точностью, в каких точках пространства и как часто? Эти требования, очевидно, должны вытекать из метода прогнозирования.

Современная научная методология подводит нас к необходимости использовать для прогнозирования погоды математические модели атмосферы, т. е. системы уравнений динамики атмосферы, описывающие ее взаимодействие (обмен энергией, влагой, количеством движения) с деятельным слоем океанов и материков и с космическим пространством, возникновение, эволюцию и затухание индивидуальных атмосферных движений. Прогнозирование будет осуществляться путем численного интегрирования таких систем уравнений шагами по времени на быстродействующих вычислительных машинах с большим объемом оперативной памяти.

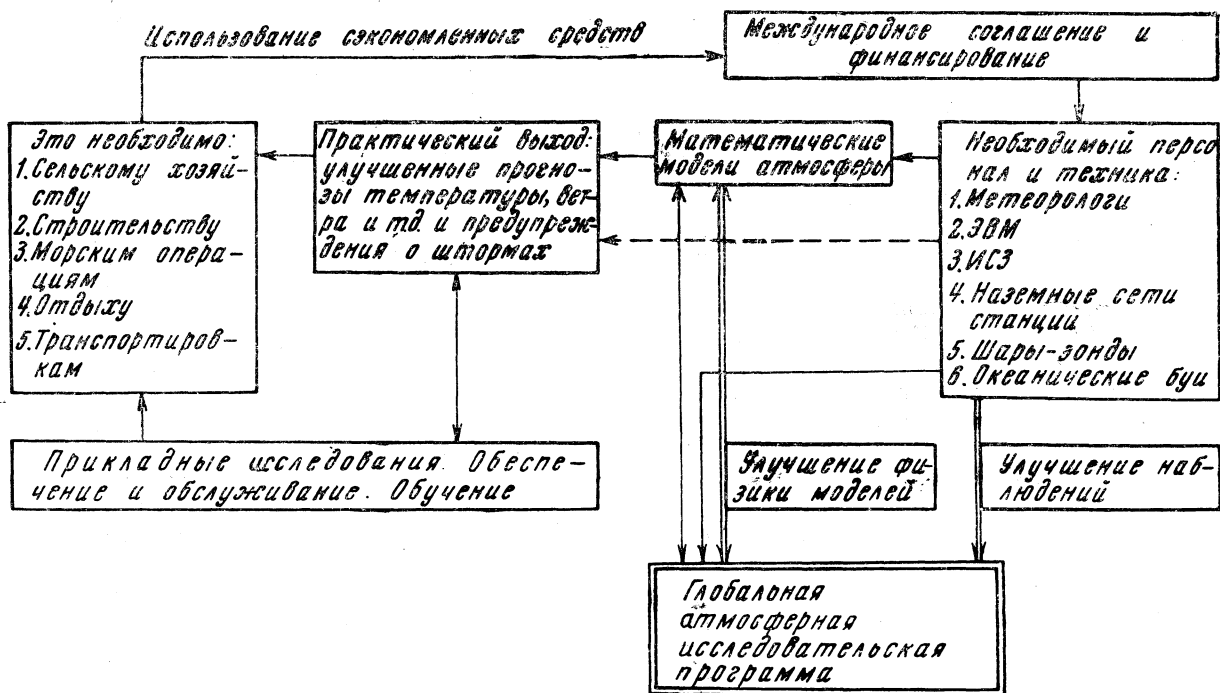
В целях численного интегрирования уравнений динамики непрерывные метеорологические поля необходимо заменить полями, определяемыми конечным набором чисел — «параметров» (например, значениями метеорологических элементов на некоторой сетке точек пространства). Набор этих чисел не бесконечен, но оказывается очень боль-

шим — в современных моделях порядка 50 000 «параметров» (в будущем это число, вероятно, вырастет еще раз в 100). Затем исходные дифференциальные уравнения надо хотя бы приближенно заменить системой из конечного числа уравнений (обычно конечно-разностных) для избранных «параметров» и разработать схему решения этой системы. Способ конечномерной аппроксимации непрерывных метеорологических полей, уравнения для «параметров» и схема их решения являются существенными составными частями математической модели атмосферы.

Интегрирование по времени уравнений модели для прогноза потребует измерения начальных значений всех «параметров», характеризующих в этой модели состояние атмосферы в целом, т. е. потребует глобальных наблюдений начального состояния атмосферы по программе, диктуемой данной моделью. Проверка результатов прогноза, которая позволила бы выявить достоинства и недостатки избранной модели атмосферы (чтобы перейти от нее к следующей, более совершен-



Директор Гидрометцентра СССР академик АН УССР В. А. Бугаев



Взаимосвязь Глобальной атмосферной исследовательской программы (GARP) с оперативной системой Всемирной службы погоды (WWW)

ной), также требует глобального наблюдения.

Таким образом, построение и усовершенствование математических моделей атмосферы и глобальное наблюдение должны быть тесно взаимодействующими частями некоторой Глобальной (а следовательно, международной) атмосферной исследовательской программы (сокращенно — ГАИП, а если пользоваться начальными буквами соответствующих английских слов и учесть, что «исследование» в переводе означает «Research», то GARP). Конечной целью этой программы является создание научно обоснованного физического метода долгосрочного предсказания погоды.

Разработка математических моделей атмосферы всегда была одной из основ гидродинамической теории долгосрочных прогнозов погоды. В последнее десятилетие с такими моделями стали широко производиться численные эксперименты по общей циркуляции атмосферы. Уравнения модели интегрировались шагами по времени на большой срок (порядка нескольких месяцев) при тех

или иных идеализированных начальных данных, например, соответствующих слегка возмущенному состоянию покоя, что позволяло проследить за тем, как начинает двигаться вначале покоившаяся атмосфера, и как скорость ее движений постепенно возрастает до некоторого уровня. В результате удалось воспроизвести флуктуирующий режим крупномасштабных атмосферных процессов, образующих общую циркуляцию атмосферы (первый численный эксперимент осуществил в 1956 г. Норман Филлипс).

Численные эксперименты при фактических начальных данных будут уже экспериментами по прогнозу. Пока этих фактических начальных данных еще нет. Но то, что численные эксперименты с математическими моделями атмосферы стали главным методом исследования общей циркуляции атмосферы и физических основ климата и являются главной перспективой в создании научных основ долгосрочного прогнозирования погоды, сейчас уже понятно не только передовым ученым-метеорологам, но и сотрудникам гидрометслужб большинства стран мира.

Ясно, что организация подлинно глобального наблюдения атмосферы будет сложным и дорогостоящим предприятием. Современная техника предлагает для этой цели использовать искусственные спутники Земли. С их помощью можно, во-первых, непосредственно производить некоторые измерения в глобальных масштабах (прежде всего, детальные измерения поля уходящей радиации в различных участках спектра — в видимом и инфракрасном свете и в диапазоне радиоволн, а затем и эксперименты типа «затмений» и т. п.). Во-вторых, собирать информацию с датчиков, размещенных *in situ*, т. е. непосредственно в изучаемой среде (в океанах, на поверхности материков, на уравновешенных шарах-зондах). При этом надо не только использовать возможности современных метеорологических ИСЗ (телефотографирование облаков и измерение уходящей радиации), но и создать методику спутниковых измерений метеорологических полей, непосредственно фигурирующих в уравнениях динамики атмосферы — полей давления и ветра.

В настоящее время Всемирная метеорологическая организация имеет в качестве оперативной наблюдательной системы Всемирную службу погоды (сокращенно WWW — по первым буквам соответствующих английских слов), использующую метеорологические ИСЗ. Одним из ее авторов является директор Гидрометцентра СССР академик АН УзССР В. А. Бугаев. Но эта система сегодня еще недостаточно удовлетворяет требованиям, предъявляемым численными экспериментами с математическими моделями атмосферы.

В отличие от WWW, GARP — это не оперативная, а экспериментальная, исследовательская программа. Ее осуществление потребует усилий многих специалистов разных стран. Результаты GARP будут внедряться во Всемирную службу погоды по необходимости и по мере материальных возможностей. Взаимосвязь между GARP и WWW иллюстрируется на прилагаемой схеме, составленной профессором Вернером Суоми.

В июле 1967 г. в Стокгольме Международный комитет по атмосферным наукам провел исследовательскую конференцию, посвященную GARP, в которой приняли участие ученые-метеорологи и инженеры многих стран, в том числе представители Академии наук СССР и советской Гидрометслуж-



*Директор Института физики атмосферы АН СССР, член-корреспондент АН СССР
А. М. Обузов*

бы. Отчет этой конференции стал научной основой первых организационных мер, в частности, Международный совет научных союзов и Всемирная метеорологическая организация создали Объединенный оргкомитет (ООК) по GARP. Его первая сессия состоялась в апреле 1968 г. в Женеве.

Председателем ООК избран известный шведский метеоролог, директор Международного метеорологического института в Стокгольме профессор Б. Болин, вице-председателем — канадский океанолог профессор Р. Стюарт, членами бюро — В. А. Бугаев (СССР) и Дж. Смагоринский (США). Членами ООК назначены также А. С. Мошин (СССР), В. Суоми (США), Т. Соьер (Англия), Ф. Меллер (ФРГ), П. Пишароти (Индия), Ч. Пристли (Австралия), И. Огура (Япония) и Ф. Морель (Франция). Для контактов с ООК Международный совет научных союзов организовал небольшой связной комитет, в который от Советского Союза вошел член-корреспондент АН СССР А. М. Обузов.



Председатель Объединенного оргкомитета по GARP, директор Международного метеорологического института в Стокгольме, профессор В. Болин

На первой сессии ООК принял следующее определение Глобальной атмосферной исследовательской программы: «GARP — это программа исследования тех физических процессов в тропосфере и стратосфере, знание которых существенно для понимания изменчивого поведения атмосферы, выражающегося в крупномасштабных флуктуациях, контролирующих изменения погоды, а также для понимания факторов, определяющих статистические свойства общей циркуляции атмосферы. Таким образом, целью GARP является улучшение нашего понимания поведения атмосферы в глобальных масштабах, что, в свою очередь, приведет к повышенной точности прогнозов погоды на сроки от одного дня до нескольких недель и к улучшению нашего понимания физических основ климата.

Программа состоит из двух различных частей, которые, однако, тесно связаны между собой:

I. Построение и испытание вычислительными методами ряда теоретических моделей поведения атмосферы, обеспечивающих все

возрастающую точность описания существенных физических процессов и их взаимодействий;

II. Наблюдательные и экспериментальные исследования атмосферы, обеспечивающие получение данных, необходимых для построения указанных моделей и проверки их пригодности».

Поскольку подготовка необходимой для осуществления GARP системы ИСЗ, уравнированных шаров-зондов для горизонтального зондирования атмосферы, океанических буйковых станций и другой техники потребует значительного времени, основные эксперименты GARP намечаются на 1975—1976 гг. Для этого предполагается осуществить ряд предварительных экспериментов. Одним из крупнейших будет эксперимент по наблюдению атмосферы в тропической зоне, исключительно интересный как для понимания одного из важнейших звеньев общей циркуляции атмосферы, так и для развития методики глобальных наблюдений.

В настоящее время разрабатываются предложения об участии советских метеорологов в предварительных и основных экспериментах GARP. Подготовку предложений организует секция метеорологии и физики атмосферы Межведомственного геофизического комитета АН СССР, возглавляемая профессором И. З. Пинусом. В этой работе участвует Научный совет по прогнозу погоды и физике атмосферных процессов (председатель — академик Г. И. Марчук).



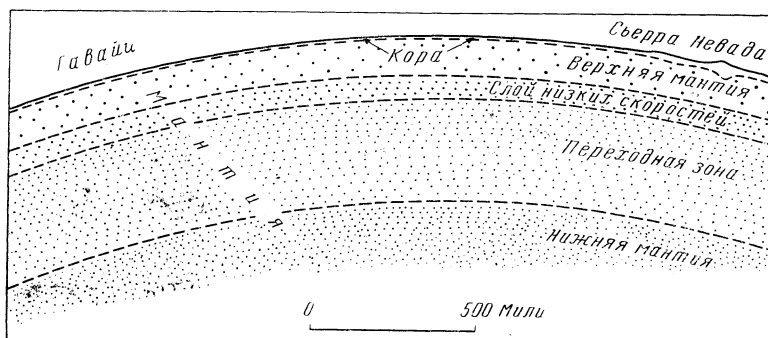
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМЛИ

В Массачусетском технологическом институте под руководством доктора Франка Пресса ведутся работы по созданию математической модели твердого тела Земли. Электронная вычислительная машина была запрограммирована на оценку так называемым методом Монте-Карло 5 млн. различных моделей; известные параметры поступали в случайном наборе; получаемые величины рассматривались с точки зрения соответствия их математической структуры реальным параметрам Земли. Из 5 млн. только шесть моделей соответствовали фактам и лишь три из них признаны вполне правдоподобными.

Все шесть отобранных моделей свидетельствуют о том, что ядро Земли имеет большие размеры, чем обычно считают. Внешнее жидкое ядро можно отождествить со сплавом железа и кремния (кремния 15—25%), а внутреннее твердое ядро — со сплавом железа и никеля (никеля 20—50%).

Такие факты, как химическая неоднородность мантии и существование обширной переходной зоны между верхней и нижней мантией, были известны давно. Проведенные теперь вычисления показали, что в верхней мантии существуют также большие флуктуации плотности.

В использовавшихся до сих пор моделях предусматривали плавный структурный переход от мантии к земной коре. Кроме того, стали привычными следующие предположения: большие участки мантии, за исключением переходной зоны на глубинах от 400 до 100 км, однородны и не являются источниками ни тепла, ни воды; для верхней мантии начальная плотность, соответствующая специфическому химическому составу, может быть предсказана по результатам анализа пород; скорости сейсмических волн связаны с плотностью, причем эта связь может быть описана уравнениями, полученными на основе лабораторных экспериментов с различными материалами и породами.



Теперь же Ф. Пресс высказывает мнение, что эти исходные предположения обладают различной степенью правдоподобия. Новая модель Земли построена вне зависимости от этих предположений.

Каждая из 5 млн. моделей была сопоставлена с массой Земли, моментом инерции, временем прохождения сейсмических волн и резонансом колебаний. Так как эти модели должны были отвечать всей Земле в целом, «кора» была принята сферически симметричной, основанной на средних величинах океанической и континентальной коры. Три из первоначально отобранных моделей были отвергнуты вследствие того, что им в области соприкосновения ядра и мантии соответствовали неправдоподобные температуры.

Согласно всем трем оставшимся моделям, радиус ядра Земли должен быть на 18—22 км больше, чем принимаемая обычно величина — 1280 км. Они также указывают на значительно большую плотность внутреннего ядра (13,3—13,7 г/см³), чем считалось до сих пор (примерно 12 г/см³).

Пресс также сделал вывод, что начальные плотности в верхней части жидкого ядра находятся в пределах между 9,4 и 10,0 г/см³ (верхний предел близок к ранее существовавшим моделям). Для мантии (на глубине более 1000 км) полученные результаты соответствуют ее составу, т. е. смеси окислов, находящихся под высоким давлением, с постоянным содержанием железа.

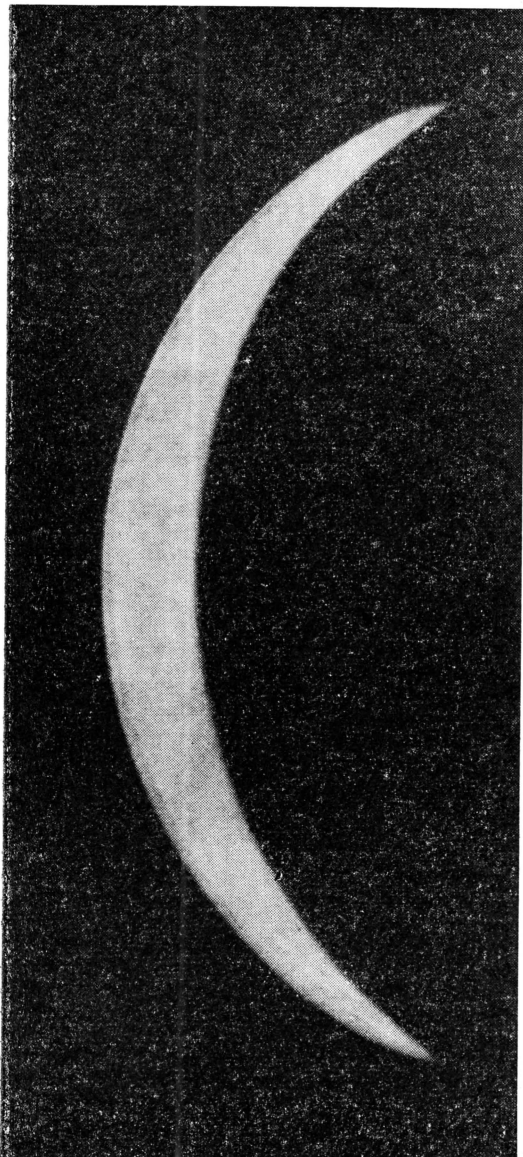
Переходная зона всегда считалась областью высокого давления. Состав ее изменяется от жидкого и до твердого состояния, и скорость сейсмических волн также

подвержена большим изменениям. Это мнение теперь подтверждается, причем изменения в плотности оказываются еще большими, чем предполагалось.

Все три новые модели верхней мантии свидетельствуют о весьма больших флуктуациях плотности. Доктор Пресс высказывает мнение о столь значительной вертикальной и горизонтальной неоднородности верхней мантии, которую ранее считали невероятной. Это указывает на нестабильное состояние и существование различных динамических процессов в верхней мантии: вулканизма, сейсмической активности, вариаций теплового потока, движения полюсов Земли.

Автор подчеркивает, что число анализируемых моделей может повлиять на окончательные выводы. Он указывает, что аналогичные работы, ведущиеся в СССР под руководством доктора физико-математических наук В. И. Кейлиса-Борока (Институт физики Земли АН СССР), и работы Массачусетского технологического института как бы взаимно дополняют друг друга. Однако прямое их сопоставление затруднительно, так как советские исследователи не ставили перед собой задачу анализа всей планеты в целом. Они изучали отдельные регионы (Европу, Канадский щит, верхнюю мантию). Кроме того, математическая основа, разработанная советскими геофизиками для миллиона моделей, несколько отличается от той, которая принята Ф. Прессом. В советских и американских моделях применяются различные значения для элементов строения Земли.

«Science News», 93, 23, 1968.



Современные представления об атмосфере Венеры

В. Г. КУРТ
кандидат физико-математических наук

5 января 1969 г. в 9 часов 28 минут московского времени в Советском Союзе в соответствии с программой космических исследований осуществлен запуск автоматической межпланетной станции «Венера-5». Основной целью запуска является продолжение исследований планеты Венеры, начатых автоматической станцией «Венера-4».

Многолетние стремления выяснить физические условия на Венере увенчались успехом лишь в последнее время. Измерения советской межпланетной станции «Венера-4» и американского аппарата «Маринер-5» позволили установить основные характеристики атмосферы планеты.

Венера, ближайшая к нам планета солнечной системы, — самый яркий видимый объект неба после Солнца и Луны. Среднее расстояние Венеры от Солнца равно 0,723 а. е. (108,1 млн. км), период обращения вокруг Солнца — 224,7 дня. По своим размерам и массе Венера очень близка к Земле: ее радиус несколько превышает 6000 км, а масса равна 0,814 земной массы, что соответствует средней плотности $5,2 \text{ г/см}^3$ и ускорению силы тяжести на поверхности 880 см/сек^2 .

Сходство размеров и массы планеты с земными заставляли предполагать, что эта аналогия распространяется и на физические условия, господствующие на поверхности Венеры.

Наличие атмосферы у Венеры было установлено в 1761 г. М. В. Ломоносовым, наблюдавшим в телескоп прохождение планеты по диску Солнца. При этом, в момент «соприкосновения» диска планеты с Солнцем, было замечено искривление резкого края Солнца, что связано с рефракцией в верхних слоях атмосферы планеты. Этот эффект получил название «явления Ломоносова».

Последующие почти 200-летние наблюдения Венеры в телескоп дали крайне мало для понимания ее природы. Классические методы планетной астрономии, так много давшие в изучении Марса, оказались полностью непригодными для Венеры. Визуальные методы наблюдения почти не обнаруживают на ней каких-либо деталей. Лишь изредка опытные наблюдатели отмечали протяженные и размытые пятна с исключительно слабым контрастом, но это, скорее всего, облака. На фотографиях Венеры, полученных в ультрафиолетовой области спектра, можно заметить более устойчивые образования, но тоже атмосферные.

Детали, принадлежащие поверхности, не видны. Это не позволяло вплоть до последних лет определить скорость вращения Венеры вокруг своей оси, а также положение оси вращения относительно плоскости ее орбиты. Выдающиеся наблюдатели прошлого века Дж. Скиапарелли и Э. Антониади пришли к заключению, что Венера вращается вокруг своей оси относительно Солнца синхронно с обращением по орбите, т. е. «сутки» на Венере длятся 224,7 земных суток. Впрочем, другие опытные наблюдатели оценивали продолжительность периода вращения от нескольких дней до нескольких недель. Уверенное определение этой величины стало возможным

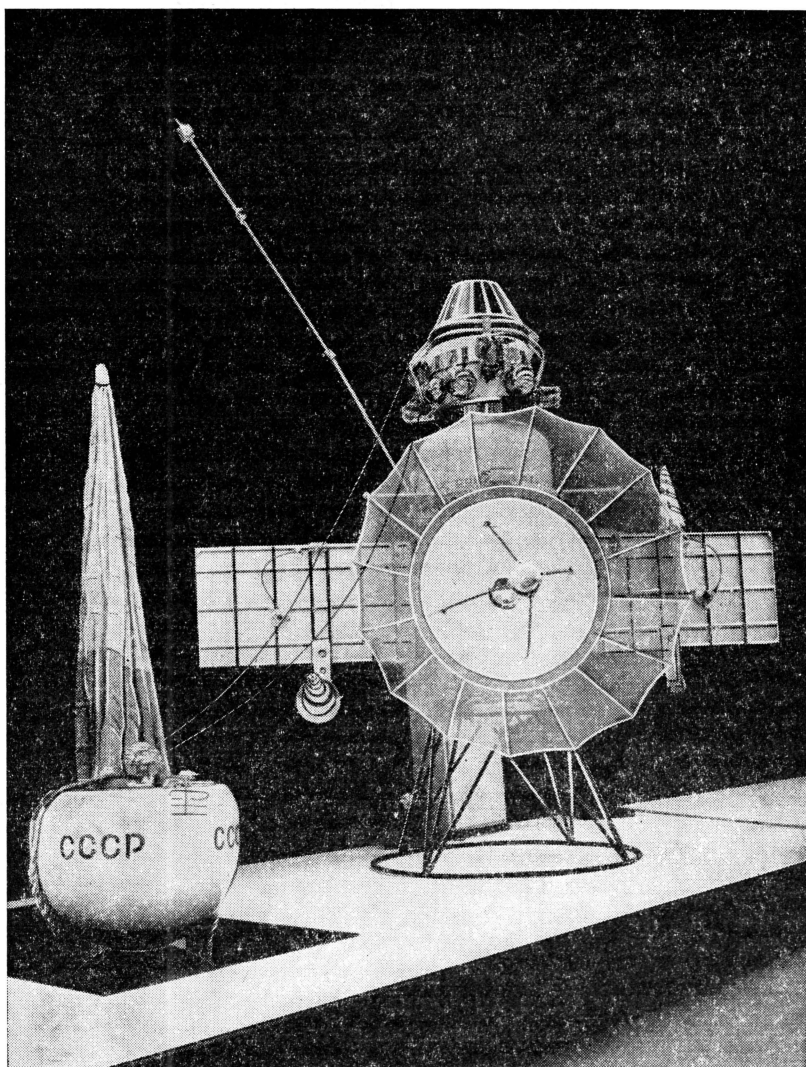
лишь в последнее время. Оно неоднократно проводилось методами радиолокации.

Анализируя спектр отраженного импульса радиоволн в диапазоне от 10 см до 8 м, ученые СССР, США и Великобритании определили, что период вращения Венеры относительно звезд (так называемый сидерический период вращения) составляет $243,1 \pm 0,2$ земных суток*. Направление вращения — обратное, т. е. противоположное направлению движения по орбите. Поэтому период ее вращения относительно Солнца (т. е. продолжительность «суток» на Венере) равен примерно 117 суткам. Угол наклона плоскости экватора к эклиптике мал.

В 1932 г. американские астрономы У. Адамс и Т. Данхэм обнаружили в спектре Венеры в ближней инфракрасной области полосы поглощения, принадлежащие углекислому газу (CO_2). В последующие 20 лет спектр Венеры был подробно исследован как в видимой, так и в инфракрасной областях. Однако вычислить полное количество CO_2 в атмосфере Венеры по этим данным оказалось невозможно, так как линии поглощения CO_2 образуются в атмосфере Венеры не в чисто газовой среде, а в облачном слое. Строение этого слоя нам не известно, а для решения поставленной задачи необходимо знать оптические параметры частиц облаков, в частности, размеры частиц, их показатель преломления и коэффициент рассеяния. Существенно также, что облачный слой в атмосфере Венеры не имеет четко выраженной границы. Поэтому плохо определялось и давление на поверхности планеты, хотя в среднем для облачного слоя оно оценивалось довольно уверенно — около 1 атм. Позже кроме углекислого газа в атмосфере Венеры были обнаружены молекулы CO , H_2O , HCl и HF . Их содержание невелико и может быть оценено только по отношению к содержанию CO_2 .

Не меньшие трудности вызвало определение температуры на поверхности планеты. Теоретически можно рассчитать так называемую равновесную температуру планеты, т. е. температуру, при которой поток излучения, получаемый планетой от Солнца, равен потоку, теряемому вследствие теплового излучения. Для Земли равновесная температура составляет около 260°К . Венера в 1,4 ра-

* Это значение поразительно близко к величине 243,16 суток, периоду, при котором планета каждый раз при сближении с Землей обращена к ней одним и тем же полушарием.



*АВТОМАТИЧЕСКАЯ МЕЖ-
ПЛАНЕТНАЯ СТАНЦИЯ
«ВЕНЕРА-4», запущенная
12 июня 1967 г. с орбиты
искусственного спутника
Земли, совершила межпла-
нетный перелет Земля —
Венера и плавно опусти-
лась в атмосфере Венеры.
Слева от станции — спуска-
емый аппарат с парашю-
том. (Экспозиция в павиль-
оне «Космос» ВДНХ)*

за ближе к Солнцу, чем Земля, тем не менее ее равновесная температура ниже земной из-за высокого альбеда (коэффициента отражения) и составляет -35°C или 238°K . По излучению Венеры в инфракрасной области разные авторы получили температуру, близкую к равновесной. Поэтому было весьма удивительным, когда радиоизмерения в области длины волны 3 см, проведенные впервые в США в 1956 г., дали значение 600°K (радиотемпература). В дальнейшем спектр Венеры от длины волны 3 мм до 70 см исследовался много десятков раз. По измерениям

в области длин волн от 3 см до 30 см температура Венеры постоянна и в среднем равна 600°K . В области длин волн короче 3 см температура падает с уменьшением длины волны и при длине волны 3 мм составляет всего 300°K . На всех длинах волн температура слабо зависит от фазы Венеры. Это свидетельствует, что температура на дневной и ночной сторонах планеты одинакова.

Столь значительная разница (около 300°) между температурой, определенной по радиоданным (600°K на длине волны около 3 см) и по измерениям в миллиметровой области

спектра (300° K), вызвала длительную дискуссию как в специальной, так и в популярной литературе. Естественно предположить, что атмосфера Венеры прозрачна для сантиметрового и дециметрового радиоизлучения, и тогда наблюдаемая радиотемпература должна соответствовать температуре поверхности. В миллиметровой области спектра атмосфера не полностью прозрачна, и наблюдения относятся к некоторому уровню атмосферы, где температура ниже, чем у поверхности. Такая картина очень проста, она соответствует наблюдаемому тепловому спектру радиоизлучения и требует лишь одного — знания механизма разогрева поверхности.

Альтернативные гипотезы, связывавшие высокую температуру и спектр радиоизлучения с горячей и плотной ионосферой, окружающей планету, были, как правило, довольно фантастичны и не выдерживали серьезной критики. Предлагались даже такие варианты: высокая радиоактивность поверхности, поддерживающая ионизацию атмосферы, электрические разряды в атмосфере и т. д.

Таким образом, имея достаточные сведения о спектре Венеры в видимой и инфракрасной областях, о радиоизлучении планеты в широком интервале длин волн, располагая данными о вращении Венеры вокруг оси, мы, практически, ничего не могли сказать о строении планеты под облачным слоем. Интуитивно многие ученые отвергали модели атмосферы с высоким давлением (10—50 атм) и высокой температурой (~ 600° K). Казалось странным, что две планеты — Земля и Венера, столь похожие друг на друга, имеют совершенно различные условия на поверхности. Очевидно, в этом случае ни о какой жизни на поверхности Венеры не при-

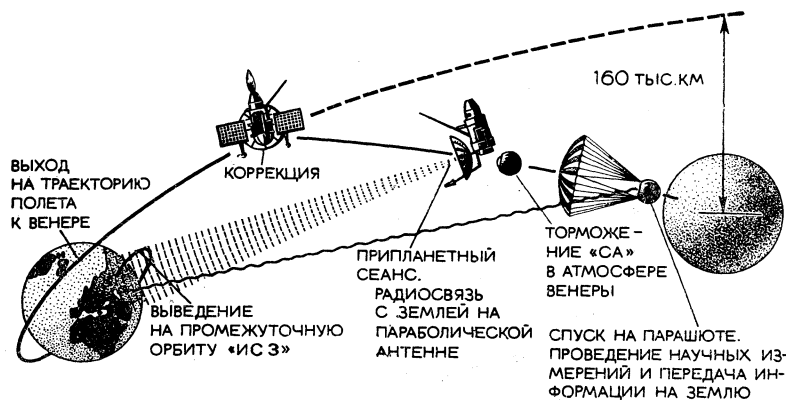
ходило и мечтать. Для выяснения условий на поверхности планеты были необходимы качественно новые методы исследования.

Конечно, наиболее оптимальным вариантом было бы осуществить посадку на поверхность Венеры автоматической станции со специальной аппаратурой. Однако достаточно много сведений можно было получить и с космического аппарата, пролетающего на близком расстоянии от планеты. Решение такой сложной задачи требовало длительной подготовки.

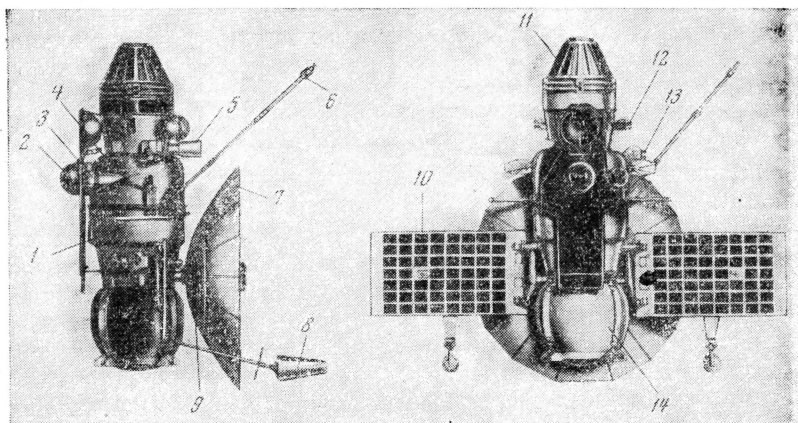
Первые запуски аппаратов к Венере были осуществлены учеными Советского Союза и США. 12 февраля 1961 г. в СССР был произведен запуск межпланетной автоматической станции «Венера-1», а 27 августа 1962 г. была запущена американская станция «Маринер-2».

В декабре 1962 г. «Маринер-2» пролетел вблизи Венеры, пройдя на расстоянии около 30 000 км от планеты. Было установлено, что магнитное поле Венеры, по крайней мере, в 10 раз слабее земного. Трижды было проведено сканирование диска планеты радиотелескопом с приемниками, работавшими на длинах волн 1,35 и 1,9 см. Первый раз сканирование — по освещенной части диска планеты, второй — по темной, а в третий раз антенна пересекла терминатор. Оказалось, что температура на освещенной и на темной сторонах планеты практически одинакова. На длине волны 1,9 см было обнаружено «потемнение» к краю. Это не противоречит предположению о высокой температуре поверхности.

12 и 16 ноября 1965 г. в СССР были успешно осуществлены запуски автоматических межпланетных станций «Венера-2» и «Венера-3». Для станции «Венера-3» 26 декабря с

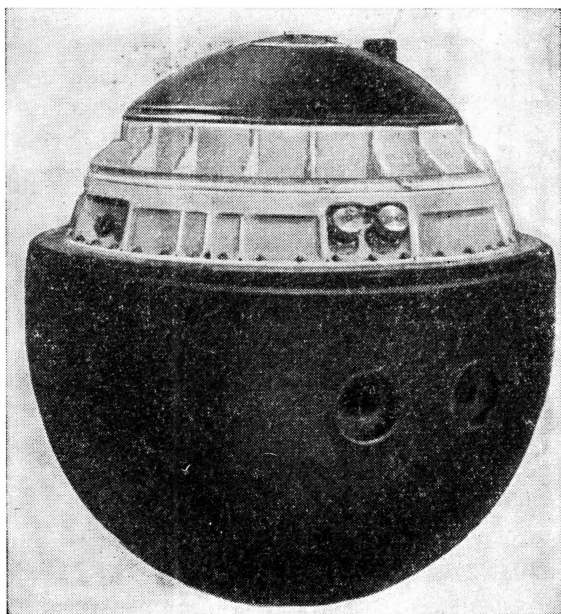


**АВТОМАТИЧЕСКАЯ МЕЖПЛА-
НЕТНАЯ СТАНЦИЯ «ВЕНЕРА-4»**
состояла из двух частей: орби-
тального отсека (1) и спускаемого
аппарата (14). В орбитальном от-
секе размещалась аппаратура,
предназначенная для научных из-
мерений на трассе полета: счетчи-
ки различных типов для исследо-
вания космических лучей (13), ло-
вушки заряженных частиц так
называемые многоэлектродные
зонды Ленгмюра (4), предназна-
ченные для исследования корпус-
кул солнечного происхождения, а
также для зондирования ионосфе-
ры Венеры; трехкомпонентный
магнитометр для изучения маг-
нитного поля Венеры и межпла-
нетных магнитных полей (6); ультра-
фиолетовый двухканальный
фотометр, предназначенный для
изучения ультрафиолетового из-
лучения в межпланетной среде и
для исследования верхних слоев
атмосферы Венеры. Во время при-
планетного сеанса ось фотометра
была направлена под углом около
90° к направлению «станция —
Солнце» и «станция — центр Ве-
неры». На орбитальном отсеке
были размещены микродвигатели
системы ориентации (12), позво-
лявшие поддерживать на всем
протяжении полета необходимую
ориентацию всего аппарата; кор-
ректирующая двигательная уста-
новка для обеспечения попадания
станции на планету (11), парабол-



лическая остронаправленная ан-
тенна для связи станции с Землей
(7); антенны с широкой диаграм-
мой направленности для связи со
станцией на небольших расстоя-
ниях от Земли (8); антенны ко-
мандной радиолинии. Станция бы-
ла оснащена датчиками оптиче-
ской ориентации на Солнце и Зем-
лю (3, 5), а также точной систе-
мой астроориентации для поиска
заданной звезды во время сеанса
астрокоррекции (2). К орбиталь-

ному отсеку на шарнирах при-
креплены две панели солнечных
батарей (10), обеспечивающих за-
рядку химических источников то-
ка. Для оптимальной работы на-
учной аппаратуры на борту име-
лось запоминающее устройство с
большой емкостью памяти, про-
граммно-временное устройство, за-
дающее режим работы аппарату-
ры, система терморегулирования
(9); радиотелеметрическая систе-
ма



СПУСКАЕМЫЙ АППАРАТ СТАНЦИИ был снабжен
химическими газоанализаторами для изучения хи-
мического состава нижней атмосферы Венеры, не-
сколькими датчиками температуры и давления
с широким диапазоном чувствительности. Здесь же
были расположены аккумуляторы для питания на-
учной аппаратуры и служебных систем, радиотеле-
метрическая система с передатчиком, радиовысо-
мер программно-временное устройство. Для предо-
хранения от перегрева на участке спуска в атмо-
сфере до раскрытия парашюта аппарат был
снабжен термозащитой (в верхней части не пока-
зана). Под верхней крышкой спускаемого аппарата
размещалась специальная парашютная система,
которая и обеспечила плавное опускание аппарата
в атмосфере Венеры

помощью системы астроориентации самой станции по командам с Земли была проведена коррекция траектории. В это время «Венера-3» находилась на расстоянии 12 900 000 км от Земли. В результате советским ученым впервые в мире удалось осуществить межпланетный перелет. 1 марта 1966 г. автоматическая станция «Венера-3» достигла планеты и доставила на ее поверхность вымпел с Гербом Советского Союза. 27 февраля 1966 г. станция «Венера-2» прошла на расстоянии 24 000 км от поверхности Венеры. С траекторий полета обе станции «Венера-2» и «Венера-3» сообщили много ценных сведений о межпланетной среде, космических лучах, солнечных корпускулярных потоках и т. д. Ученые накопили неоценимый опыт работы со сложным комплексом аппаратуры, выработали оптимальные методы управления станцией в трехмесячном полете, внесли все необходимые изменения при разработке следующей станции.

12 июня 1967 г. с орбиты искусственного спутника Земли стартовала новая автоматическая станция «Венера-4», успешно выполнившая весь четырехмесячный полет и осуществившая впервые в мире плавный спуск в атмосфере Венеры. Это историческое событие произошло 18 октября 1967 г. в 7 часов 38 минут московского времени.

При подлете к Венере станция по команде с Земли сориентировалась так, что остро направленная антенна смотрела на Землю, а дополнительный оптический датчик — на Солнце, после чего начался припланетный сеанс связи, продолжавшийся 1,5 часа. В это время станция находилась на расстоянии около 40 000 км от центра планеты. На всем протяжении припланетного сеанса производилась регистрация напряженности магнитного поля, уровня радиации, потока заряженных частиц низкой энергии, а также интенсивности ультрафиолетового излучения в двух спектральных диапазонах: 1050—1340 Å и 1225—1340 Å. В первом из этих диапазонов находится самая интенсивная линия солнечного ультрафиолетового спектра, принадлежащая атомарному водороду, так называемая линия L_{α} , с длиной волны 1216 Å. Второй интервал содержит три близкие линии атомарного кислорода с длинами волн 1302, 1304 и 1305 Å. Анализируя интенсивность излучения в этих длинах волн, можно вычислить плотность атомов водорода и кислорода в атмосфере Венеры. Такой метод

использовался ранее для исследования верхней атмосферы Земли и позволил обнаружить протяженную водородную оболочку, простирающуюся до 100 000 км.

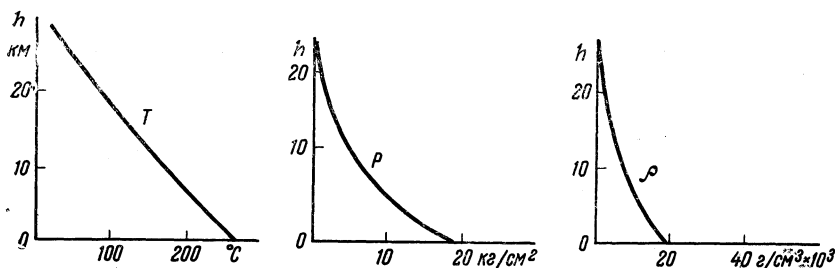
Рассмотрим теперь результаты, полученные с орбитального отсека автоматической межпланетной станции «Венера-4». Станция попала на ночную сторону планеты примерно в 15° от терминатора. Поэтому все полученные данные относятся к ночной неосвещенной стороне планеты.

Измерения, выполненные магнитометром, позволили установить, что дипольного магнитного поля у планеты нет. Можно утверждать, что магнитное поле Венеры не превышает 10^{-3} — 10^{-4} земного, а наблюдавшиеся изменения напряженности обусловлены взаимодействием движущейся планеты с магнитным полем межпланетной среды.

Таким образом, из всех исследованных планет солнечной системы: Венеры, Земли, Марса, а также Луны, только Земля обладает значительным полем. По-видимому, магнитное поле может быть у планет, которые быстро вращаются вокруг своей оси и имеют массу, превышающую земную.

Так как у Венеры нет заметного магнитного поля, то у нее нет и поясов заряженных частиц. Анализ показаний счетчиков заряженных частиц низких энергий позволил заключить, что поток частиц не увеличивался на протяжении всего полета. Когда же станция подлетела к Венере на близкое расстояние, планета начала экранировать станцию от космических лучей. По мере увеличения экранирования скорость счета частиц падала, но она не уменьшилась вдвое, как можно было ожидать. Это свидетельствует о наличии частиц вторичного происхождения, связанных с бомбардировкой верхних слоев атмосферы планеты космическими лучами. Что касается ионосферы планеты, то на ночной стороне электронная плотность не превышает 1000 эл/см^3 . Это примерно в 100—1000 раз меньше, чем на соответствующих высотах в атмосфере Земли.

Ультрафиолетовое излучение атомарного водорода (линия L_{α}), начиная с расстояния трех радиусов планеты, стало возрастать и на высоте около 100 км достигло значения, в 3 раза превышающего уровень фона в межпланетном пространстве. Вблизи поверхности планеты излучение L_{α} незначительно уменьшилось. На основании этих измерений сде-



ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ в зависимости от высоты над ее поверхностью по данным, полученным на спускаемом аппарате автоматической межпланетной станции «Венера-4»: T — температура, p — давление, ρ — плотность

лан вывод, что плотность атомарного водорода в зависимости от расстояния до центра планеты падает по степенному закону с показателем $-4,5$. Вблизи поверхности планеты его концентрация достигает ~ 1000 атомов/см³. Небольшое же уменьшение интенсивности излучения атомарного водорода у поверхности связано, по-видимому, с наличием молекул углекислого газа, поглощающих линию L_{α} . По степени ослабления линии L_{α} можно вычислить плотность углекислого газа на высоте около 100 км.

Изменений интенсивности ультрафиолетового излучения атомарного кислорода замечено не было. Удалось оценить лишь верхнюю границу плотности атомарного кислорода. На высоте примерно 300—400 км от поверхности Венеры (там, где аппарат влетел в зону тени) его концентрация не превышает нескольких тысяч атомов в 1 см³. Эта оценка очень уверенная.

Основной вывод, который сделан на основании этих наблюдений, состоит в следующем: верхняя атмосфера Венеры, в отличие от земной, имеет существенно более низкую температуру. Это позволяет объяснить отсутствие заметной ионосферы на высотах порядка нескольких сотен километров. Углекислая атмосфера просто обрывается на высотах 300—500 км. Выше этого уровня атмосфера Венеры становится чисто водородной.

Наиболее интересные результаты были получены с аппарата, совершившего плавный спуск в атмосфере Венеры. Для измерений температуры были установлены термометры сопротивления с диапазоном измерений 210—730° К с ошибкой порядка 10° К. Кроме температуры, определялись давление в диапазоне 100—5200 мм рт. ст. с ошибкой ± 150 мм рт. ст. и плотность в диапазоне $5 \times 10^{-4} \div 1,5 \times 10^{-2}$ г/см³ с ошибкой, изменяющейся в пределах $(0,18 \div 3) \times 10^{-3}$ г/см³. Измерения велись с 7 часов 40 минут 52 секунд московского времени с частотой 1 раз за 48 секунд

вплоть до прекращения радиосвязи с аппаратом, т. е. до 9 часов 13 минут 57 секунд. Температура измерялась все время, а давление и плотность до моментов зашкаливания приборов, которое произошло в 8 часов 30 минут 31 секунду и 8 часов 50 минут 00 секунд. Для дальнейшей экстраполяции предполагалось, что атмосфера состоит из углекислого газа, т. е. имеет средний молекулярный вес, равный 44. Путь спускаемого аппарата определялся двумя способами: по уравнению движения аппарата с парашютом и исходя из гидростатического равновесия атмосферы. Как известно, согласно показаниям радиовысотомера измерения в атмосфере были начаты на высоте 26 км над поверхностью. Согласие расчетных результатов с измерениями высоты радиовысотомером вполне удовлетворительное. Средний температурный градиент в атмосфере около 9°/км соответствует адиабатическому, что является условием конвективного равновесия. В момент прекращения радиосвязи давление равно 20 ± 3 атм, плотность 19×10^{-3} г/см³ $\pm 15\%$ и температура $544 \pm 10^\circ$ К, высота однородной атмосферы 12 км.

Особенно важным был вопрос о химическом составе атмосферы Венеры, так как спектроскопические методы хорошо дают содержание компонент по отношению к содержанию CO₂. Анализ состава атмосферы производился 11 химическими газоанализаторами, сработавшими по командам бортового программного устройства. Первые пять газоанализаторов сработали при давлении 550 мм рт. ст. и температуре $25^\circ \pm 10^\circ$ С, вторые шесть анализаторов соответственно при 1500 мм рт. ст. и $90^\circ \pm 10^\circ$ С. Исследовалось наличие в атмосфере Венеры углекислого газа, молекулярного азота, кислорода и паров воды. Результаты представлены в таблице.

Как видно из таблицы, атмосфера Венеры на 90% состоит из углекислого газа. Молекулярного кислорода меньше 1—1,5%, но

СОСТАВ АТМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ
(в объемных процентах)

	По результатам замеров	
	1-й группы анализаторов	2-й группы анализаторов
Углекислый газ	90% ± ±10%	>30%
Молекулярный азот	>7%	<2,5%
Молекулярный кислород	>0,4%	<1,6% (с парами воды)
Пары воды	>0,1%	<0,7%

больше 0,4%, молекулярного азота меньше 7%, а паров воды (1 ÷ 8) мг/л. Напомним, что состав земной атмосферы совсем иной: большую часть составляет азот — 78,23%, много кислорода — 20,81%, на долю углекислого газа приходится всего 0,03%. Такое отличие атмосферы Венеры от атмосферы Земли объясняется скорее всего тем, что углекислый газ на нашей планете связан в карбонатах осадочных пород. Если бы весь углекислый газ находился в атмосфере, то атмосферное давление у поверхности, по грубой оценке, равнялось бы примерно 40 атм. Возможно, что на Венере в связанном состоянии находится часть ее углекислого газа. Большое количество молекулярного кислорода в атмосфере Земли является результатом деятельности живых организмов.

14 июня 1967 г. в сторону Венеры был запущен американский космический аппарат «Маринер-5», пролетевший 19 октября 1967 г. в 17 часов 34 минуты 55,3 секунды всемирного времени на минимальном расстоянии — 10 151,0 км — от центра планеты. На «Маринере-5» была установлена аппаратура для исследования магнитного поля Венеры, заряженных частиц различных энергий, ультрафиолетового рассеянного излучения в верхних слоях атмосферы Венеры. Весьма ценные научные данные получены из анализа радиосигнала передатчика «Маринера-5» при его радиозаходе и радиовосходе. Благодаря этому эксперименту удалось подробно исследовать ход электронной плотности в ионосфере Венеры на дневной и ночной стороне; рассчитать плотность и температуру атмосферы на сравнительно больших высотах. Из наблюдений радиоизлучения передатчика был

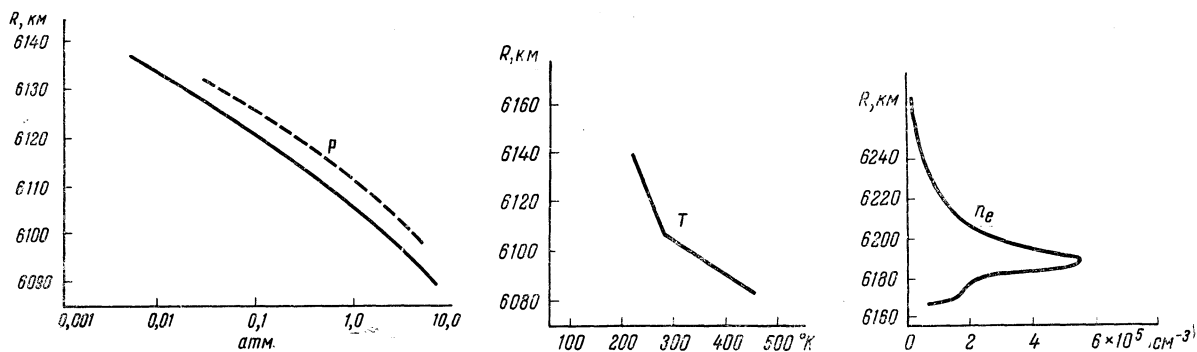
вычислен показатель преломления, который связан с плотностью атмосферы. При расчетах использовался химический состав атмосферы, полученный «Венерой-4».

Результаты измерений магнитного поля и концентрации заряженных частиц в окрестностях Венеры, проведенные на «Маринере-5», полностью согласуются с результатами измерений «Венеры-4». Хорошее согласие результатов получено и для ультрафиолетового рассеянного излучения на ночной стороне Венеры. Ученые США получили распределение атомарного водорода и на дневной, освещенной стороне планеты. Ими установлено также, что атомарного кислорода в верхних слоях атмосферы Венеры нет.

Как показал анализ, проведенный по сопоставлению данных измерений «Венеры-4» и «Маринера-5», полученные результаты хорошо согласуются друг с другом в пределах одинаковых значений измеренных параметров, если допустить, что радиус Венеры составляет приблизительно 6070—6080 км. Эти величины отличаются от значения, полученного из радиолокационных измерений ($R = 6056$ км). Одним из предположений, выдвинутых для объяснения этого в общем-то небольшого расхождения по сравнению со значением радиуса планеты, могло бы быть наличие возвышенных областей там, где происходил спуск «Венеры-4».

До сих пор неясным остается вопрос о природе высокой температуры поверхности (около 600° К). Наиболее известной является парниковая модель атмосферы Венеры. Считается, что атмосфера Венеры сравнительно прозрачна для видимого излучения, но практически непрозрачна для инфракрасного уходящего излучения планеты. Это и приводит к разогреву атмосферы. Такая теория была бы общепризнанной, если бы удалось показать, что при химическом составе, который был получен по измерениям с «Венеры-4», спектральная прозрачность (определяемая в основном углекислым газом и водяными парами) соответствует наблюдениям. Но это еще не сделано. Не показано, однако, и то, что парниковый эффект не обеспечивает нагрева. Можно думать, что теоретические расчеты и дальнейшие наблюдения позволят полностью решить эту проблему.

Результаты измерений на «Венере-4», а также измерения покрытия Венерой яркой звезды Регул в созвездии Льва, позволяют построить модель атмосферы Венеры для

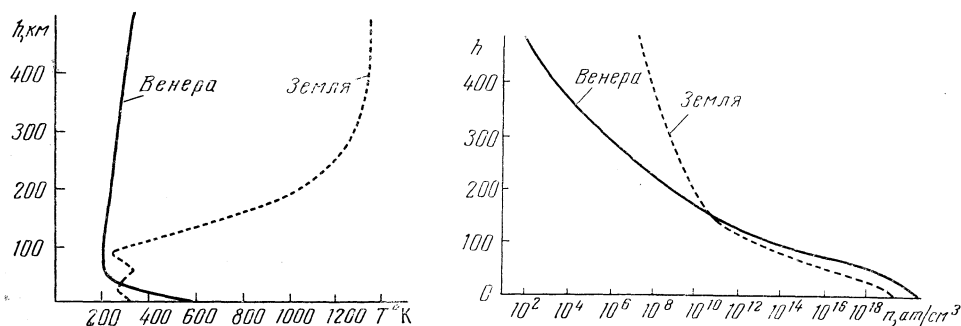


ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ по данным «Маринера-5»: p — давление на дневной и ночной (пунктир) сторонах, T — температура верхней атмосферы, n_e — электронная плотность в ионосфере планеты на дневной стороне в зависимости от расстояния до центра Венеры

высот, меньших нескольких сотен километров. Это покрытие, наблюдавшееся в 1959 г., позволило Д. Мензелу и Ж. Вокулеру определить, что на уровне, соответствующем покрытию, давление равно 2×10^{-3} мм рт. ст., высота однородной атмосферы составляет 6,8 км и логарифмический градиент шкалы высот равен 0,010. Высота над поверхностью, соответствующая этому уровню, равна 113 ± 2 км.

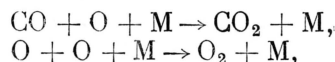
В. И. Мороз и автор настоящей статьи предприняли попытку использовать полученные данные для построения модели верхней атмосферы Венеры. При этом предполагалось, что стратосфера Венеры находится в

радиационном равновесии с инфракрасным излучением планеты. Полагая, что в этой области имеется изотермия при температуре 200°K , авторы нашли, что молекулярный вес на уровне покрытия Регула равен 29. Это соответствует наличию молекулярного и атомарного кислорода, а также окиси углерода. Низкая температура на этих высотах естественно объясняется охлаждением атмосферы за счет излучения молекул углекислого газа в полосе 15 мкм. При этой модели высота покрытия Регула получается около 113 км. На неосвещенной стороне планеты, т. е. там, где отсутствует ультрафиолетовая радиация Солнца, вызывающая диссоциацию молекул



СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ И ЗЕМЛИ: T — температура, n — концентрация (атомов в см^3)

углекислого газа, идут в основном следующие реакции:



где М — третья молекула, сохраняющаяся в ходе реакции.

Особенно эффективно протекает вторая реакция. В атмосфере Венеры образуется слой молекулярного кислорода толщиной около 20 км с максимумом концентрации на высоте 100 км. На больших высотах атмосфера становится в основном атомарно-кислородной, а выше 500 км доминирует атомарный водород, зарегистрированный по ультрафиолетовому рассеянному излучению в линии L_α . Столь «необычное» строение верхней атмосферы Венеры является результатом низкой температуры в верхних слоях (около 300—400° К), что, в свою очередь, определяется химическим составом (охлаждение инфракрасным излучением молекул CO_2).

В верхней атмосфере Земли отсутствует

такой мощный охлаждающий агент, и температура на высоте 200—300 км существенно выше (1000—1500° К), хотя поток ультрафиолетовой солнечной радиации для Земли вдвое меньше.

Описанная картина строения атмосферы Венеры еще далека от полного завершения, но можно думать, что основные, принципиальные черты ее объяснены верно. В дальнейшем, конечно, будут поняты и раскрыты все особенности строения столь непохожего на Землю мира. Не последняя роль в этом, несомненно, будет принадлежать наземным спектральным наблюдениям.

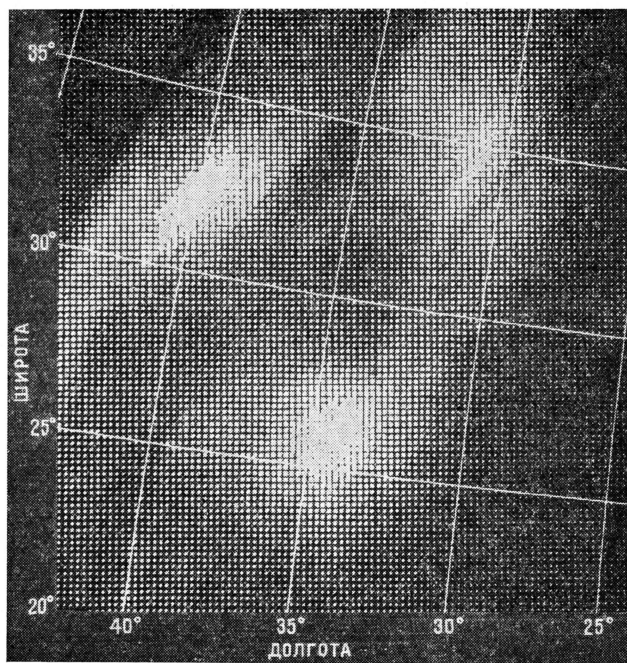
Таким образом, есть все основания надеяться, что скоро Венера перестанет быть «загадочной планетой». Ведь уже в первое десятилетие развития космической техники стало возможным осуществить межпланетный перелет на соседнюю планету и посадку станции. Очевидно, что следующее десятилетие даст еще больше для развития планетной астрономии.



РАДИОКАРТА ВЕНЕРЫ

Несколько лет назад было замечено, что некоторые области на Венере отражают микроволновое радиоизлучение сильнее, чем окружающая местность. Эти детали на Венере постоянны и вращаются вместе с планетой. Во время каждого нижнего соединения, когда радиолокационные наблюдения Венеры особенно удобны, к Земле обращено приблизительно одно и то же полушарие. Это происходит потому, что синодический период обращения Венеры (584 суток) равен пятикратному солнечному периоду вращения планеты (117 суток).

Американские астрономы Р. М. Голдстейн и С. Зоэр проводили радиолокационные наблюдения Венеры на волне 12,5 см во время нижних соединений 1962—1967 гг. Посылаемый импульс имел мощность 100 квт, а пришедший через 4,5 минуты отраженный сигнал — всего лишь 10^{-19} вт. Учи-



РАДИОКАРТА участка планеты Венера. Более светлые на рисунке — области с повышенной отражательной способностью

тивая величину запаздывания и размеры доплеровского смещения, можно определить величину «радиояркости» отдельных участков поверхности Венеры.

Были обнаружены три области с повышенной отражательной способностью. Самая яркая имеет поперечник около 240 км и расположена на 25° с. ш. Ее назвали Бета. В 1000 км к северу от нее находится вторая область — Дельта и малозаметная третья область. Эти области деполяризуют посылающийся поляризованный радиолуч, следовательно, они более шероховаты, чем окружающие районы, причем размеры неровностей превосходят длину волны. Исследователи предполагают, что неровности могут быть либо горами, либо кратерами, подобными лунным.

«Sky and Telescope», 36, 3, 1968.

КАКОВО ДАВЛЕНИЕ АТМОСФЕРЫ НА МАРСЕ?

В последние годы резко изменились наши представления о величине атмосферного давления на Марсе. Если по фотометрическим наблюдениям давление у поверхности Марса получалось равным примерно 80 мбар, то проведенные в последние годы многочисленные спектральные определения давления дают значения между 10 и 30 мбар.

Другое независимое определение давления было сделано космическим зондом «Маринер-4». Во время захода за диск планеты радиосигналы зонда «просвечивали» атмосферу Марса. Попадая из космического пространства в более плотную атмосферу, радиоволны изменяли фазу, частоту и амплитуду. По величине этих изменений можно было определить преломляющую способность атмосферы, а отсюда (делая те или иные предположения о химическом составе атмосферы) — плотность и полное давление. Давление на дневной стороне планеты (при заходе зонда за диск) равно 4,9 мбар, а высота однородной атмосферы — 9 км. На ночной стороне (при выходе зонда из-за диска) давление оказалось несколько большим — 8,4 мбар, а высота однородной атмосферы — 12 км. Это различие пытались объяснить неточностями измерений на ночной стороне или же

тем, что «дневная» и «ночная» области атмосферы, просвеченные зондом, расположены над участками поверхности разной высоты.

Имеется противоречие и между данными «Маринера-4» и результатами спектральных определений давления. При всем разбросе спектральных данных, они не дают столь низких значений, какие получил «Маринер-4». Почему?

На этот вопрос недавно попытались ответить американские ученые Дж. Харрингтон, М. Гросси и Б. Лангуорти*. При оценке давления по преломляющей способности нижней атмосферы, измеренной «Маринером-4», считалось, что преломляющая способность определяется только нейтральным газом, а роль ионизованной составляющей атмосферы пренебрежимо мала. Для того чтобы разделить вклад, вносимый ионизованными слоями и нейтральной атмосферой, можно воспользоваться тем, что преломление радиосигнала, вызванное обеими составляющими, противоположно по знаку. Но сделать это можно лишь, если радиопросвечивание производится, по крайней мере, на двух частотах, а не на одной, как в случае «Маринера-4».

Харрингтон и его коллеги предположили, что преломляющее действие нижней атмосферы обусловлено не только нейтральным газом, но и дополнительным низко расположенным ионизованным слоем. Преломление, вызванное этим слоем, противоположно по знаку преломлению, создаваемому нейтральным газом. Поэтому суммарное преломление становится несколько меньшим, чем если ионизованного слоя нет, и атмосфера фактивно кажется менее плотной.

Авторы эксперимента с «Маринером-4» уже обнаружили один ионизованный слой на больших высотах (120—125 км), электронная концентрация которого равна 10^5 эл/см³. На такой высоте плотность нейтральной атмосферы очень мала, и все преломление вызвано почти исключительно ионосферой. Однако в существовании второго, низкого слоя ионизации ничего невозможного нет. Атмосфера Марса очень тонка, поэтому ионизирующее ультрафио-

летовое излучение Солнца проходит ее почти насквозь. Возможно, что оно задерживается так называемым фиолетовым слоем, но высота этого слоя точно не известна, по всей вероятности, он располагается не очень высоко над поверхностью.

Харрингтон, Гросси и Лангуорти построили несколько моделей атмосферы Марса, которые соответствуют измеренной преломляющей способности столь же хорошо, как и первоначальная модель, предложенная авторами эксперимента с «Маринером-4». Если предположить, например, что на высоте 15 км расположен ионизованный слой с электронной концентрацией $3 \cdot 10^4$ эл/см³, то полное давление нейтральной атмосферы может быть равно не 4,9, а 7,3 мбар, и высота однородной атмосферы не 9, а 11 км. Такая атмосфера может состоять, например, из 40% аргона, 30% азота и 30% углекислоты. Если концентрация ионизованного слоя $9 \cdot 10^4$ эл/см³, то давление будет равно 10 мбар, высота однородной атмосферы — 15 км, а состав атмосферы может быть следующим: 45% аргона, 30% азота и 25% углекислоты. В последнем варианте давление уже соответствует спектральным измерениям, и смущавшее нас разногласие исчезает.

Ни одну из этих моделей, конечно, нельзя считать окончательной, но все они показывают, что результаты «Маринера-4» можно истолковать по-разному. Можно, в частности, подбирая высоту и электронную концентрацию в добавочном слое, получить и еще более высокие давления (при этом, конечно, электронные концентрации не должны превышать той величины, которую может создать ультрафиолетовое излучение на расстоянии Марса). Для однозначного решения вопроса необходимы добавочные эксперименты.

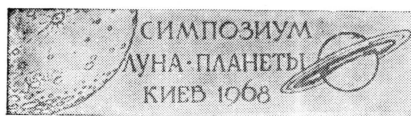
Харрингтон и его коллеги поновому подошли и к различиям в давлении «ночной» и «дневной» атмосфер. Не связано ли более высокое «ночное» давление с тем, что ночью добавочный ионосферный слой вследствие рекомбинации ионов сильно уменьшается или совсем исчезает? В этом случае радиосигнал преломляется лишь нейтральной атмосферой, и кажущегося уменьшения преломляющей способности не происходит. Если это так, то «ночное»

* «Journal of Geophysical Research», 73, 9, 1968.

давление (8,4 мбар) гораздо ближе к истинному, чем «дневное».

Вопрос, таким образом, остается открытым. Можно надеяться, что он будет решен при следующих полетах к Марсу.

К. А. ЛЮБАРСКИЙ
кандидат физико-математических наук



В октябре 1968 г. в Киев из разных городов нашей страны, а также из США, Франции, Болгарии, Польши и Японии прибыли для участия в Симпозиуме по физике Луны и планет астрономы, физики, геофизики, геологи. Наибольшее внимание в работе симпозиума было уделено Луне и Венере.

Доклады, которые были заслушаны на заседаниях, посвященных Луне, относились к следующим основным проблемам: «Физика поверхностного слоя Луны», «Картография Луны», «Морфология Луны», «Космогония Луны», «Селенология».

С обзорным докладом «Физические свойства поверхности Луны» выступил профессор О. Дольфус. На симпозиуме были обсуждены результаты исследований Луны с помощью советских и американских космических аппаратов, результаты наземных спектральных, фотометрических и поляризационных наблюдений, данные исследования ультрафиолетового, инфракрасного и радиоизлучения, а также некоторые результаты теоретических работ.

Обзорный доклад «Планета Венера» сделал доктор физико-математических наук А. Д. Кузьмин. Многочисленные доклады, посвященные Венере, касались измерений с космических аппаратов, наземных измерений, а также интерпретации результатов.

Обзорный доклад «Физика планеты Марс» сделал кандидат физико-математических наук И. К. Коваль. Были обсуждены данные фотометрических и спектроскопических наблюдений Марса, а также результаты фотографирования Марса с близкого расстояния.

На заседании, посвященном планетам-гигантам, был заслушан обзорный доклад кандидата физико-математических наук В. Г. Тейфеля, а затем несколько докладов о составе атмосферы и некоторых спектральных свойствах планет-гигантов, об активных процессах в атмосфере Юпитера, о наблюдениях Сатурна в 1966 г.

Общие вопросы физики планет и планетной космогонии рассматривались в обзорных докладах члена-корреспондента АН СССР В. В. Соболева («Теория рассеяния света в атмосферах планет») и доктора физико-математических наук Б. Ю. Левина («Планетная космогония»).

Цель данной заметки — информировать читателей о состоявшемся симпозиуме. В следующих номерах «Земли и Вселенной» будет опубликовано несколько статей, рассказывающих об основных научных итогах симпозиума.

Е. П. ЛЕВИТАН

СОВЕТУЕМ ПРОЧИТАТЬ

ПОСЕТИТЕ МИР ПЛАНЕТ

Издательство «Наукова думка» выпустило книгу И. К. Коваль «Мир планет» (Киев, 1968). В этой небольшой книге, рассчитанной на массового читателя, рассказывается о всех планетах солнечной системы. Особенно подробно автор описывает Марс и Венеру, т. е. планеты, которые уже сегодня можно изучать с небольшого расстояния с помощью космических аппаратов. В книге описывается вид Марса и Венеры в телескоп, рассказывается о климате на этих планетах, об атмосфере Марса и Венеры, о современных взглядах на возможность существования жизни на планетах солнечной системы.

Современная астрофизика развивается очень быстро, и книгу уже сейчас можно дополнить новыми результатами, например данными, переданными на Землю с борта советской автоматической межпланетной станции «Венера-4». Знакомство с книгой будет весьма полезно читателю, не только впервые обращающемуся к этой теме, но и серьезно

интересующемуся планетной астрономией.

КНИГА О ГАЛАКТИКАХ И КВАЗАРАХ

Автор книги «Галактики, ядра и квазары» («Мир», 1968) Ф. Хойл хорошо известен многим читателям нашего журнала. Это крупный английский ученый, с именем которого связаны многие исследования в современной астрофизике. Ф. Хойла знают и как автора научно-фантастических романов «Черное облако» и «Андромеда». Наконец, Ф. Хойл — талантливый популяризатор науки, умеющий (как это видно на примере книги «Галактики, ядра и квазары») доходчиво и увлекательно излагать проблемы внегалактической астрономии, космологии, теории происхождения химических элементов.

Книга переведена К. А. Любарским. Перевод выполнен под редакцией Д. А. Франка-Камеицкого, который написал очень интересное и важное для читателя предисловие к книге.

ВОЗРАСТ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

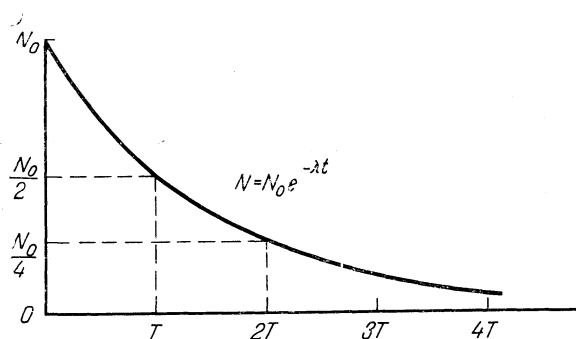
В. И. БАРАНОВ
профессор

Характерные этапы в ходе эволюции вещества и тел солнечной системы можно с большей или меньшей достоверностью датировать с помощью «радиоактивного хронометра» — радиоактивных элементов, превращения которых подчиняются определенному закону и не зависят от внешних воздействий.

Прошло около 200 лет со времени, когда И. Кант, а затем П. Лаплас предложили первые научные гипотезы происхождения солнечной системы. Однако ни в этих гипотезах, ни в тех, которые пришли им на смену, включая самые современные, не ставился вопрос о том, как соотносятся между собой во времени возникновение самих тел солнечной системы и вещества, из которого они состоят. Только в последние годы стало ясно, что обе эти проблемы имеют много точек соприкосновения, а комплексное их решение может позволить расставить временные вехи на пути развития солнечной системы.

Для определения промежутков времени между двумя событиями необходим измеритель времени — своего рода часы, ход которых не меняется со временем, показания которых можно отсчитывать в интересующие нас моменты, причем «завода» этих часов должно хватить на весь измеряемый промежуток. Такими часами, как указал более полувека назад известный французский ученый Пьер Кюри, может служить распад радиоактивных элементов, который подчиняется определенному закону и не зависит от внешних воздействий.

Различные варианты методов определения абсолютного (в годах) возраста природ-



ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА. T — период полураспада — время, по истечении которого остается половина начального количества атомов (N_0) радиоактивного изотопа

ных объектов основаны на применении закона радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где N — число атомов радиоактивного изотопа в момент времени t , N_0 — начальное число атомов для момента $t = 0$, e — основание натуральных логарифмов, λ — индивидуальная для каждого радиоактивного изотопа величина, называемая константой распада или радиоактивной постоянной. Величина ее пропорциональна вероятности распада атома. За время $1/\lambda$ число атомов ра-

диоактивного изотопа уменьшается в e раз. Промежуток времени T , по истечении которого остается половина начального количества радиоизотопа, называется периодом полураспада и наглядно характеризует скорость распада.

Если при распаде каждого атома радиоизотопа образуется один атом продукта распада, то количество таких дочерних атомов P , накопленное за время t , равно:

$$P = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}), \quad (2)$$

или, заменяя неизвестное нам N_0 через $N \cdot e^{\lambda t}$, получим:

$$P = N(e^{\lambda t} - 1). \quad (3)$$

В исследуемой пробе вещества в момент, который мы считаем начальным, могло уже содержаться некоторое количество продукта распада P_0 . Тогда:

$$P = P_0 + N(e^{\lambda t} - 1). \quad (4)$$

При радиоактивном распаде какого-либо элемента происходит выделение или β -частиц, т. е. электронов, или α -частиц — ядер гелия. Кроме того, ядро может захватить один из электронов внутренних оболочек атома (K -захват). При этом образуются изотопы соседних элементов периодической системы Менделеева, которые тоже могут быть радиоактивными. Процесс последовательных превращений может привести к образованию длинной цепочки так называемого радиоактивного ряда или семейства. В природе известны ряды распада, «родоначальниками» которых являются изотопы урана (U^{238} , U^{235}) и тория (Th^{232}). Каждый из этих рядов состоит из полутора десятков членов и заканчивается устойчивым изотопом свинца. Кроме того, в процессе распада из ядер выделяются α -частицы. Это значит, что в веществе накапливаются атомы гелия.

При определении интервалов времени, значительно превышающих период полураспада промежуточных продуктов, можно считать, что родительский радиоизотоп (U или Th) превращается непосредственно в конечный продукт (свинец), образуя при этом 8 атомов He^4 (в ряду U^{238}), 7 атомов He^4 (в ряду U^{235}) и 6 атомов He^4 (в ряду Th^{232}).

Зная закон радиоактивного распада и последовательность превращения радиоизотопов, мы можем рассчитать содержание начальных атомов и продуктов распада для любого момента. И наоборот, зная количество радиоизотопов и продуктов их распада, мож-

но вычислить промежуток времени, в течение которого происходил распад.

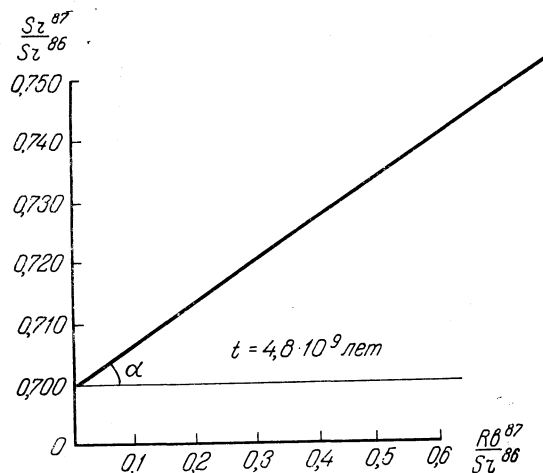
Очевидно, скорость распада радиоизотопа, используемого для определения возраста, должна быть соизмерима с величиной интересующего нас промежутка времени (чтобы «завода» часов хватило). Для определения геологических и космических промежутков времени используются преимущественно медленно распадающиеся изотопы.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОИЗОТОПЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ДРЕВНИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ И КОСМИЧЕСКИХ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ

Радиоизотоп	Период полураспада, в годах	Тип превращения	Устойчивые продукты распада	Пределы определения возраста, в годах
K^{40}	$1,3 \cdot 10^9$	β 88% K 12%	Ca^{40} Ar^{40}	$>10^6$
Rb^{87}	$6,2 \cdot 10^{10}$	β	Sr^{87}	$>10^9$
Re^{187}	$5 \cdot 10^{10}$	β	Os^{187}	$>10^9$
Th^{232}	$1,39 \cdot 10^{10}$	α	$6He^4$ Pb^{208}	$>10^7$
U^{235}	$7,13 \cdot 10^8$	α	$7He^4$ Pb^{207}	$>10^7$
U^{238}	$4,5 \cdot 10^9$	α	$8He^4$ Pb^{206}	$>10^7$

Во всех применяемых методах определения абсолютного возраста по радиоактивному распаду производится сопоставление содержания в исследуемом объекте радиоактивных изотопов и продуктов их распада. Но в расчетной формуле (4) неизвестны, вообще говоря, две величины: длительность промежутка времени (t) и содержание в исследуемой пробе продукта распада радиоизотопа в начальный момент (P_0). Наиболее простой случай — это определение возраста тех радиоактивных минералов, в структуру которых при образовании самих минералов не вошли продукты распада радиоактивных изотопов (U , Th , K^{40} и др.). При этом также нужно быть уверенным, что в течение всего измеряемого промежутка времени в исследуемом объекте не происходило потери, либо в этот объект не привносились извне радиоизотопы или продукты их распада. Необходимо, чтобы изменение отношения радиоизотопов и продуктов их распада в исследуемом объекте определялось только временем распада.

Задача значительно усложняется, если мы не знаем начального состава исследуемого объекта. В таких случаях приходится прибегать к более или менее обоснованным ги-



ИЗОХРОНА ДЛЯ ИЗОТОПОВ РУБИДИЯ И СТРОНЦИЯ. Тангенс угла наклона (α) изохроны определяется лишь временем, прошедшим с момента дифференциации вещества

потезам. При определении возраста космических объектов, начальное состояние которых может быть установлено только гипотетически, часто используются различные варианты так называемого изохронного метода, в котором не обязательно знать начальное содержание радиогенного продукта P_0 .

Этот метод применяется для определения времени, в течение которого «материнское» вещество в ходе различных физических или химических процессов разделилось на две (или более) части — фракции, т. е. произошла дифференциация вещества. При этом в различных фракциях соотношение между радиоактивными и радиогенными элементами будет, вообще говоря, различным.

Рассмотрим этот метод на примере. При распаде изотопа рубидия Rb^{87} образуется стабильный изотоп стронция Sr^{87} . У стронция есть и другой изотоп, Sr^{86} , тоже стабильный, но существующий самостоятельно, т. е. изотоп, не связанный с радиоактивным распадом. Количество его со временем не меняется и остается таким, как в начальный момент. Будем измерять содержание радиоизотопа и продукта распада не в абсолютных величинах, а по отношению к содержанию Sr^{86} . Тогда формулу (4) можно записать так:

$$\frac{(Sr^{87})}{(Sr^{86})} = \frac{(Sr^{87})_0}{(Sr^{86})_0} + \frac{(Rb^{87})}{(Sr^{86})} (e^{\lambda t} - 1). \quad (5)$$

Заметим, что для всех фракций, которые мы исследуем, отношение $(Sr^{87})_0/(Sr^{86})_0$ постоянно: оба изотопа принадлежат одному элементу — стронцию и при дифференциации ведут себя одинаково. Поэтому, если мы нанесем на график отношение $(Sr^{87})/(Sr^{86})$ в зависимости от $(Rb^{87})/(Sr^{86})$, то точки для всех исследуемых фракций расположатся на одной прямой, тангенс угла наклона которой будет равен $(e^{\lambda t} - 1)$, т. е. будет зависеть только от времени, прошедшего с момента дифференциации. Эта прямая называется изохроной. Такие изохроны можно построить и для других радиоизотопов.

Какие же космические события мы можем датировать радиоактивными методами? В связи с проблемой изучения эволюции солнечной системы можно выделить следующие характерные этапы ее развития:

1. Образование химических элементов.
2. Образование индивидуальных тел солнечной системы.
3. Характерные этапы в развитии отдельных тел (образование оболочек Земли, выделение метеоритов из родительских тел и т. д.).

ВОЗРАСТ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Присутствие в земном веществе природных радиоактивных изотопов (U, Th и др.), которые в сформировавшейся Земле вновь не образуются и количество которых непрерывно убывает благодаря необратимому и неотвратимому процессу самопроизвольного распада, однозначно свидетельствует о том, что земное вещество в своем развитии прошло стадию синтеза радиоактивных изотопов. Естественно предполагать, что при этом образовались и другие широко распространенные в земном веществе элементы периодической системы (более тяжелые, чем обильные в космосе водород и гелий). Механизм синтеза химических элементов, несомненно, очень сложен и далеко не ясен.

По распространенным представлениям, большая часть химических элементов образуется в ходе термоядерных реакций внутри звезд. Тяжелые элементы, включая уран и торий, требуют особых условий, возникающих, например, при взрывах сверхновых звезд. По-видимому, тяжелые элементы образовались в последнюю очередь. В таком случае время прекращения их синтеза будет

нижним пределом возраста химических элементов и одновременно — верхним пределом возраста Земли как планеты.

Мы можем применить радиоактивные методы непосредственно к определению возраста урана. Это можно сделать, как указал еще более полувека назад Э. Резерфорд, путем сопоставления современного отношения двух изотопов урана U^{235}/U^{238} , распадающихся с различной скоростью. Начальное отношение $(U^{235}/U^{238})_0$ Резерфорд принимал равным 1, что при современном значении отношения $U^{235}/U^{238} = 1/139$, соответствует возрасту урана в 6 млрд. лет.

Начальное отношение изотопов урана можно получить, пользуясь теориями образования элементов, которые предсказывают такие отношения. Но следует заметить, что благодаря малой, по сравнению с возрастом элементов, продолжительности жизни U^{235} различные предположения о первичном изотопном составе урана мало влияют на рассчитанные значения его возраста.

Вышедшее из стадии синтеза ядер протопланетное вещество могло содержать химические элементы разного возраста. Поэтому их возраст, а вместе с тем и возраст земного вещества будет неопределенным. Мы можем только указать, что его верхняя граница может быть оценена возрастом урана. По оцен-

кам разных исследователей возраст земного вещества составляет 5—7 млрд. лет.

При расчете возраста элементов мы предполагали, что процесс их образования был однократным и кратковременным. Если же образование элементов в нашей Галактике происходит непрерывно (например, при периодических взрывах сверхновых звезд), то возраст химических элементов становится неопределенным.

ВОЗРАСТ МЕТЕОРИТОВ

Определить возраст отдельных тел солнечной системы радиоактивными методами можно только в том случае, если образцы их вещества удастся проанализировать в лаборатории. Следовательно, кроме Земли, мы можем пока судить лишь о возрасте доступных для анализа метеоритов.

Выделим несколько этапов в жизни метеоритов и попытаемся их датировать:

1. Момент выделения вещества метеоритов путем дифференциации допланетного материала*.

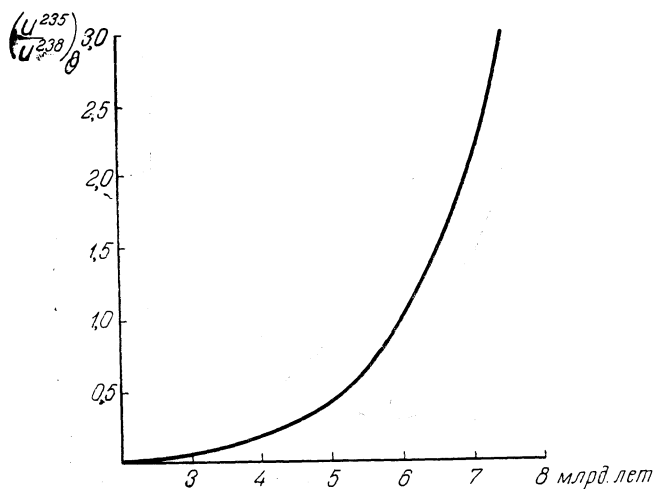
2. Момент «остывания» метеорита, т. е. продолжительность накопления радиогенных газов.

3. Космический или радиационный возраст, т. е. время пребывания метеоритов как самостоятельных тел в космическом пространстве, когда они облучались космическими лучами.

4. Время, прошедшее после падения их на земную поверхность.

Первый этап в жизни метеоритов можно определить, предполагая, что родительское тело возникло после дифференциации протопланетного облака, когда образовался ряд тел, отличавшихся по соотношению радиоактивных и радиогенных продуктов. Чтобы установить момент этого события, можно использовать изохронные методы, опирающиеся на гипотезу, согласно которой вещество метеоритов произошло в процессе одновременной дифференциации единого материнского вещества.

Ч. Паттерсон, применив изохронный метод к изотопам свинца, нашел возраст метеоритов приблизительно равным 4,5 млрд. лет.



ЗАВИСИМОСТЬ ВОЗРАСТА УРАНА от величины начального отношения изотопов урана $(U^{235}/U^{238})_0$

* Мы говорим о «моменте» условно: все перечисленные процессы, в действительности, были длительными, но длительность их мала по сравнению со временем, прошедшим с тех пор.

Определение возраста железных метеоритов по соотношению радиоактивного рения и радиогенного осмия дает значение в среднем также в 4,5 млрд. лет. Разброс данных (3,7—5,6 млрд. лет) легко объясняется ошибками анализа. Аналогичное значение возраста метеоритов получено изохронным методом по рубидию и стронцию.

Для определения времени остывания метеоритов могут быть использованы «газовые» — гелиевый и аргоновый — методы. С этой целью в метеоритах измеряют количество радиогенных гелия и аргона. Первые оценки такого «возраста» метеоритов гелиевым методом были получены Фр. Панетом в середине 30-х годов. Однако дальнейшие исследования показали, что в метеоритах, кроме радиогенного гелия, должен быть и гелий, образующийся при облучении метеорита космическими лучами. В связи с этим гелиевый метод потерял свое значение. Более надежным оказался аргоновый метод, ибо изотоп аргона Ar^{40} возникает только при распаде радиоактивного калия. Используя аргоновый метод, ученые нашли, что с момента остывания метеоритов прошло от 3,9 до 4,5 млрд. лет. Меньшие значения этой величины обычно считаются заниженными из-за потери газов при повторном разогревании метеорита.

Радиоактивные методы позволяют определить и так называемый космический (или радиационный) возраст метеоритов — время пребывания метеоритов в космическом пространстве, пронизываемом космическими лучами. Под влиянием облучения космическими лучами в метеоритах происходят ядерные реакции, приводящие к образованию как стабильных, так и радиоактивных изотопов. Выбирая подходящие пары изотопов, близкие по ядерным свойствам, можно принять, что скорости их образования будут одинаковы. Такой парой может служить, например, стабильный изотоп аргона Ar^{36} и радиоактивный изотоп хлора Cl^{36} . Можно показать, что скорость распада радиоактивного изотопа (число распадающихся в единицу времени атомов) в момент падения на Землю равна скорости его образования в космическом пространстве, так как за длительное время пребывания метеорита в межпланетном пространстве устанавливается равновесие между количеством образующихся и распадающихся атомов. Так, определив скорость образования и содержание стабильного изотопа, рассчитывают космический возраст метеорита.

В результате оказалось, что космический возраст железных метеоритов составляет 80 млн.— 1 млрд. лет, тогда как возраст каменных метеоритов колеблется от нескольких миллионов до 50 млн. лет, т. е. на порядок меньше. Связано ли это с различием в происхождении железных и каменных метеоритов или объясняется специфическими условиями облучения и дробления в космическом пространстве, еще не ясно.

ВОЗРАСТ ЗЕМЛИ

Как это ни странно покажется на первый взгляд, но при определении возраста Земли мы встречаем значительно большие трудности, чем при определении возраста метеоритов. В отличие от метеоритов, состав которых нам известен, мы не знаем состава всего земного вещества (за исключением земной коры, масса которой не превышает 1% массы Земли). Кроме того, еще В. И. Вернадский указывал, что горные породы земной коры проходили неоднократно через эпохи метаморфизма, стиравшие следы их первоначального состава. В связи с этим В. И. Вернадский и выдвинул, сохранив свою значимость и в настоящее время, задачу поисков наиболее древних участков земной коры. Наконец, метеориты после образования не обмениваются составляющими их элементами с другими телами, а земная кора продолжает «жить», обогащаясь химическими элементами мантии.

Все радиоактивные оценки «возраста Земли» до настоящего времени производились на основании анализа доступных пород земной коры и только условно могут быть перенесены на Землю в целом.

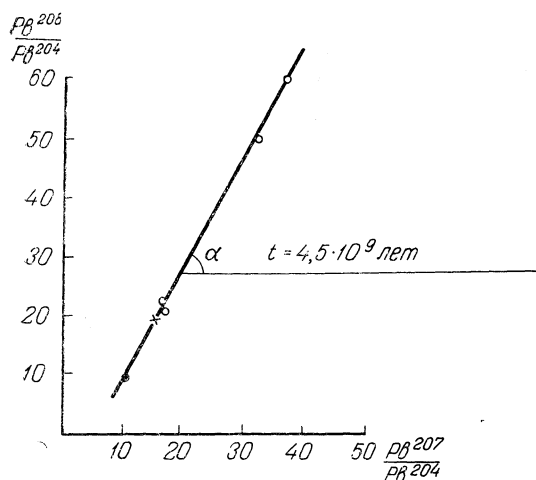
Мы можем выделить следующие основные этапы эволюции Земли:

1. Образование Земли как индивидуального космического тела.

2. Образование геологических оболочек Земли (земной коры, гидросферы, атмосферы).

3. Образование древнейших горных пород.

Построив по изотопам свинца изохрону для вещества земной коры и метеоритов, Паттерсон нашел, что все точки для этих объектов ложатся на одну прямую, соответствующую возрасту 4,5 млрд. лет. Это может означать, что метеориты и земная кора выделились в результате одновременной дифференциации более старых тел или возникли непо-



ИЗОХРОНА ПО ИЗОТОПАМ СВИНЦА для вещества протопланетного облака — ●; каменных метеоритов — ○ и земной коры — ×. Видно, что все точки ложатся на одну прямую, наклон которой (α) соответствует возрасту в 4,5 млрд. лет

средственно путем сгущения вещества протопланетного облака. В последнем случае возраст Земли близок к возрасту коры. В первом случае наша планета должна быть старше. Но трудно представить причины одновременной дифференциации гипотетического родительского тела метеоритов и Земли (являющейся родительским телом по отношению к земной коре), если момент дифференциации отделен от момента их образования значительным промежутком времени. Поэтому вероятнее предположить, что образования Земли и земной коры отделены небольшим (в космических масштабах) промежутком времени и что 4,5—5 млрд. лет составляют возраст всей нашей планеты. Таким образом, выделенные нами две первые возрастные вехи на пути развития Земли почти сливаются и возраст Земли оказывается очень близким к возрасту метеоритов.

Третья веха, отвечающая возрасту древнейших горных пород, по мере уточнения данных постепенно сдвигается назад по оси времени от 2 млрд. лет в 30-х годах до 3,5 млрд. лет в последнее время. Остающийся незаполненный фактическим материалом интервал времени между 4,5 и 3,5 млрд. лет, возможно, является эпохой бурной тектони-

ческой деятельности, в ходе которой исчезли почти все древнейшие породы.

На одновозрастность вещества Земли и метеоритов указывает также одинаковый изотопный состав радиоактивных элементов: урана, калия, рубидия. Пока не обнаружено каких-либо различий в их изотопном составе, которые нельзя было бы объяснить действием космических лучей.

* *
*

Применение методов определения абсолютного возраста по радиоактивному распаду привело к выводу, что основные этапы процесса образования вещества и тел солнечной системы были близки по времени и завершились около 4,5 млрд. лет назад. Однако необходимо подчеркнуть, что эти выводы основаны на вероятных, но строго не доказанных гипотезах. Есть некоторые указания, что могут быть найдены земные и космические объекты и более древнего возраста.

Успехи теории образования химических элементов и звездной космогонии, наряду с исследованием глубинных проб вещества Земли, и новые данные о строении и составе планет и метеоритов, возможно, существенно изменят современные представления и будут способствовать дальнейшему развитию теории происхождения солнечной системы.



ШКАЛА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВОЗРАСТОВ ДЛЯ ЛУННЫХ КРАТЕРОВ

Управление геологической съемки США разработало шкалу относительных возрастов для лунных кратеров. Шкала основана на десятичной системе, отсчет начинается от 0,0 для наиболее древних кратеров; самым молодым присваивается индекс 7,0. Система может быть применена к любым кратерам на Луне и прилегающим к ним геологическим объектам.

Например, кратеру Коперник дан возрастной индекс 6,2; поверхности Океана Бурь, где расположен этот кратер, — 5,1; Море Восточному — 4,8.

Система исходит из представлений о медленном разрушении кратеров в результате бомбардировки малыми метеорными частицами, оползней и других геологических явлений. Она удобна для установления последовательности образования основных элементов поверхности Луны.

Абсолютный возраст этих элементов может быть определен лишь после доставки образцов лунных пород на Землю.

«Geotimes», 13, 5, 1968.

О НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗДАХ

Согласно современным взглядам, после взрыва сверхновой образуется нейтронная звезда с диаметром менее 20 км, но с массой, приблизительно равной массе Солнца. Особенностью нейтронных звезд являются сильные колебания типа расширение — сжатие. Вещество нейтронных звезд настолько плотно «упаковано», что представляет «твердое» тело. Поэтому колебания нейтронных звезд, несмотря на огромную массу, происходят с очень большой частотой и в этих колебаниях заключена огромная энергия.

Недавно Карл Хансен и Сати-ко Цурата исследовали конкрет-

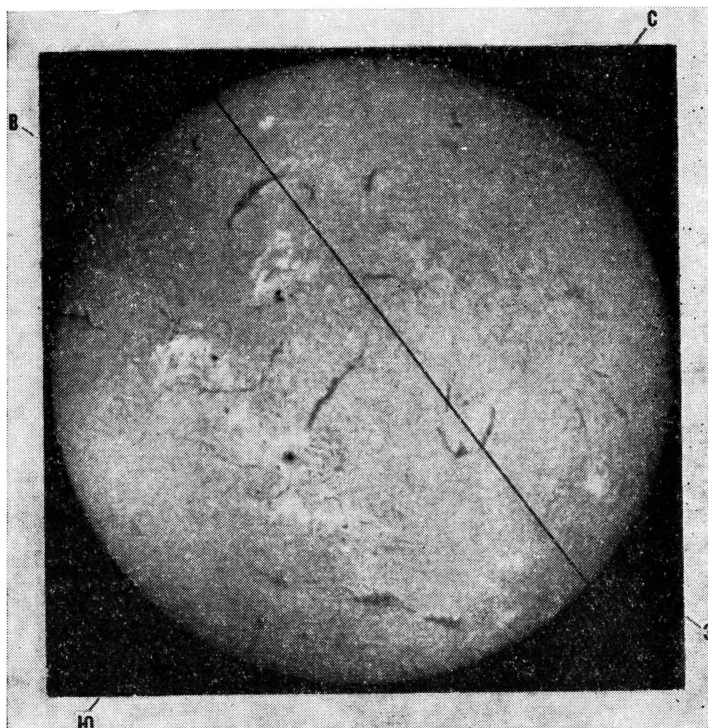
ные математические модели нейтронных звезд, пытаясь определить, могут ли эти звезды быть источником очень мощного рентгеновского излучения, которым характеризуются такие остатки происшедших в прошлом взрывов сверхновых, как Крабовидная туманность. Оказалось, что при допустимых предположениях и за вычетом энергии, теряемой на нейтринное и тепловое излучения, нейтронные звезды должны испустить громадное количество энергии (примерно 10^{47} — 10^{50} эрг) в рентгеновском диапазоне. Этой энергии достаточно, чтобы обеспечить наблюдаемую мощность излучения Крабовидной туманности в течение десятков тысяч лет (вспышка сверхновой звезды на месте нынешней Крабовидной туманности наблюдалась китайскими астрономами 915 лет на-

зад). Более того, ожидаемое мягкое рентгеновское излучение соответствует недавним измерениям рентгеновского излучения от Крабовидной туманности.

Таким образом, наблюдаемые энергетические процессы согласуются с гипотезой о том, что в остатках сверхновых звезд содержатся «осциллирующие» нейтронные звезды. Дальнейшее подтверждение этой гипотезы требует разработки детальных математических моделей атмосферы и магнитосферы таких звезд. Это дает возможность более достоверно рассчитать, как энергия колебаний этих звезд путем различных возможных процессов и с достаточно высокой эффективностью преобразуется в рентгеновские лучи.

«New Scientist», 36, 569, 1967.

СОЛНЦЕ 17 АВГУСТА 1968 г.



Эта фотография Солнца в лучах водородной линии H_α получена сотрудницей Уссурийской солнечной станции Л. Д. Сурковой. В день фотографирования на Солнце были видны лишь небольшие пятна, внешне напоминающие мелкие черные зерна. Наиболее значительные по размерам детали солнечной поверхности — флоккулы (светлые участки) и волокна (темные участки)



ГРОМКОГОВОРТЕЛЬ... РЕГИСТРИРУЕТ МОРСКИЕ ВОЛНЫ

В Канаде сконструирован новый прибор для регистрации морских волн. Он разработан на основе главных деталей громкоговорителя с подвижной катушкой.

Рама и магнит громкоговорителя движутся вместе с волной, в то время как катушка фиксируется силой тяжести. Устройство излучает электрический сигнал, частота которого изменяется в зависимости от ускорения, полученного рамой и магнитом.

Запись этих ускорений позволяет регистрировать профиль волны. Сигнал можно регистрировать и непосредственно, и передавать на расстояние. Устройство можно устанавливать в открытом море для автоматической работы в течение длительного срока.

«Science News», 93, 23, 1968.

ОРАНЖЕВЫЙ ДОЖДЬ

Автомобилисты Южной и Центральной Англии в последний воскресный день июня 1968 г. начистили до блеска свои автомобили, а в понедельник 1 июля все открытые поверхности (прежде чистые, блестящие и скользкие) покрылись оранжевой пылью. Оказалось, что рано утром 1 июля выпал дождь, насыщенный пылью, подхваченной где-то в Северной Африке.

В этот же день газета «Таймс» сообщила, что в некоторых районах Англии выпал необычный град: размеры отдельных градин достигали величины мяча для игры в гольф. Метеорологическая служба оставляет открытым вопрос о том, случайно или закономерно такое совпадение.

Дождь подобного масштаба с пылевыми частицами не выпадал с 1903 года. Анализ минералогического состава частиц показал, что пыль состояла из кварца и полевого шпата с небольшим количеством кальцита и слюды. А цвет пыли объяснялся присутствием некоторого количества окислов железа, окутывающих

отдельные пылевые зерна. Присутствие частиц полевого шпата и кальцита — минералов, которые очень быстро разрушаются в метеорологических условиях умеренных широт, подтвердило догадку о том, что пыль вынесена из района пустынь. Рассмотренные под микроскопом частицы пыли имели острые углы, хотя некоторые были округлой формы. Песчинки в дюнах центральных районов пустынь обычно более округлены. Пыль, выпавшая в Англии, явилась результатом разветвления отложений лесса и могла быть принесена с окраины пустыни Сахары.

«Nature», 219, 5150, 1968.

ГИДРОФОНЫ В КАБЕЛЕ

Существующие ныне системы гидрофонных связей (сейсмические «косы»), буксируемых по дну за судном для регистрации сейсмических импульсов с целью изучения структуры морского дна, дают недостаточно точные материалы. Гидрофоны обычно прикреплены к кабелю перпендикулярно его оси, и улавливающие вибрацию мембраны постоянно перемещаются относительно друг друга. Этот недостаток усугубляется еще неизбежной при такой конструкции громоздкостью, излишней турбулентностью водной среды при буксировке и связанными с этим звуковыми помехами.

В новой конструкции, разработанной в США, гидрофоны устанавливаются непосредственно внутри кабеля. В зависимости от необходимой степени плавучести, кабель наполняется пресной или соленой водой или легким силиконовым маслом. Жидкость передает гидрофонам вибрации так же, как и морская среда.

Толщина стенки кабеля составляет всего 3 мм, что позволяет почти полностью избежать искажения волн низкой частоты, регистрируемых сейсмическими приборами. Диаметр кабеля — 70 мм, конец его закруглен, обтекаемые формы сводят турбулентность среды к минимуму.

«Science News», 93, 18, 1968.

ГВИНЕЙСКИЙ ПОТОК

Летом 1968 г. завершилась океанографическая экспедиция в Атлантику, организованная Лабораторией атлантической биологии (Майами, Флорида). Научно-исследовательское судно «Undaunted» за четыре месяца прошло около 18 тыс. миль, изучая движение больших водных масс у западного побережья Африки, названное Гвинейским потоком.

Впервые это течение было обнаружено в 1966 г. французскими океанологами, работающими в Пуэнт-Нуар (Конго, Браззавиль). Ученые заметили, что в Гвинейском заливе собираются огромные стаи тунца, в том числе и наиболее ценные его разновидности. В поисках объяснения этого факта и был открыт Гвинейский поток.

Он образуется в районе экватора, приблизительно на траверзе городов Либревиль и Порт-Жангиль (Республика Габон). Течение долгое время оставалось незамеченным в связи с тем, что охваченные им водные массы движутся медленно (со скоростью 7—8 миль в сутки). Кроме того, этот район ранее не был вовлечен в активное рыболовство и движение судов здесь сравнительно редкое. Точный периметр области, охватываемой течением, еще не очерчен. Однако установлено, что оно имеет южное направление и движется над известным холодным Бенгуальским течением, навстречу ему. В северном направлении движутся и несколько более теплые, так называемые Тропические воды, но Гвинейский поток обладает достаточной силой, чтобы сместить их к югу.

Исследования показали, что в конце апреля или начале мая по не известным пока причинам поток круто изменяет свое направление и начинает обратное движение на север — в Гвинейский залив!

Примечательно постоянство изотермы 24°С (стабилизация «фронта» течения) и целой группы изотерм от 22 до 30°С. Этим, очевидно, объясняется значительная концентрация планктона и мелких разновидностей рыб, которые привлекают тунца.

«Science News», 93, 25, 1968.

ПОДВОДНАЯ ОКРАИНА В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ

А. В. ИЛЬИН

кандидат географических наук

Морское дно, скрытое от нас огромной толщей воды, никогда не бывает в покое. Сложные геологические процессы постоянно изменяют первичные формы тектонического рельефа. Особенно интенсивны эти процессы в переходной зоне от материков к океаническим впадинам. Изучая эту зону, можно в общих чертах ответить на вопрос о взаимосвязях материковых структур с океаническим дном, о природе подводных каньонов и современных тектонических движениях.

С точки зрения геологии и геофизики материки не кончаются там, где к берегу подступают океанские воды, а дно океана не начинается сразу за береговой чертой. Между материком и океаническим дном расположены планетарные формы рельефа: шельф, материковый склон и материковое подножие. Они неотделимы друг от друга и вместе составляют подводную окраину материков.

Современный вид подводной окраины материков — результат длительного геологического развития. Поэтому изучение структуры и внешнего облика подводной окраины

материков помогает решить важную проблему наук о Земле и, в частности, вопрос о характере геологических взаимосвязей материков и океанического дна.

Подводная окраина материков на земном шаре имеет самое разнообразное строение. В Атлантическом океане она включает шельф, уступ материкового склона и пологонаклонную равнину материкового подножия. На западе Тихого океана подводная окраина материка представлена системой окраинных морей и островных дуг с глубоководными желобами.

Помимо морфологических особенностей,



подводные окраины материков различаются и геологически. Так, в Тихом океане структуры подводной окраины материка простираются параллельно береговой линии. В других океанах, особенно в Атлантическом, они часто подходят к берегу под углом. Поскольку эти различия проявляются наиболее ярко в Тихом и Атлантическом океанах, все подводные окраины материков делятся на два типа — тихоокеанский и атлантический. Особый интерес представляет изучение подводных окраин атлантического типа, где материковые структуры часто подходят к берегу и исчезают в океане.

ПРОДОЛЖАЮТСЯ ЛИ ЭТИ СТРУКТУРЫ НА ДНЕ ОКЕАНА?

Искать продолжение наземных структур на шельфе не имеет смысла, поскольку рельеф этой зоны почти полностью сглажен. Однако на материковом склоне, скрытом под километровыми толщами воды, структуры прилегающих материков должны как-то проявляться. Действительно, при рассмотрении материкового склона Атлантики нетрудно заметить существенные морфологические различия.

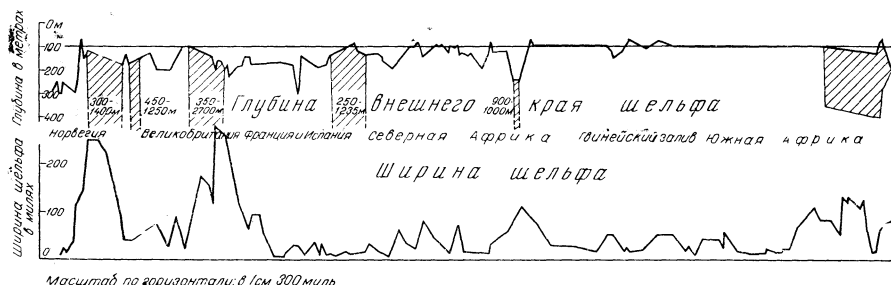
Однако эти различия отступают на второй план перед сходством основных черт рельефа на всем протяжении склона. Повсюду самыми характерными элементами рельефа являются крутые уступы, субгоризонтальные террасы и подводные каньоны. Создается впечатление, что хотя материковый склон и развивался на разных структурах, они были настолько сильно преобразованы, что различия остались минимальными. Во всяком случае, заметить продолжение наземных структур в области материкового склона почти невозможно, и потому трудно предсказать их дальнейшую судьбу под водами океана.

Можно, конечно, рассуждать так. Геосинклинали и складчатые горные системы — структуры сугубо материковые и никакого отношения к океану не имеют. В таком случае нет ничего странного в том, например, что Кантабрийские горы, Малый Атлас или Аппалачи не прослеживаются в океане. Эти структуры потому и оканчиваются слепо на окраине материка, что на дне океана нет условий для формирования геосинклиналей и складчатых зон. Но можно рассуждать и иначе, т. е. предположить, что складчатые структуры окраины материка глубоко погрузились в земную кору. С этой точки зрения интересны данные о вертикальных движениях подводной окраины материка.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ОКРАИНЫ МАТЕРИКОВ

Одним из основных методов определения вертикальных движений подводной окраины материков является изучение древних береговых линий. Наиболее надежная из них — внешний край шельфа, выработанный в ледниковое и послеледниковое время.

По совокупности палеогеографических данных понижение уровня океана в период последнего оледенения оценивается в 100—110 м. Следовательно, 20—25 тыс. лет назад уровень океана повсеместно был на 100 м ниже. Материки были обширнее, а океаны занимали меньшую площадь. Таяние ледников, как известно, оставило свои следы на материках в виде моренных холмов, ледниковых озер, толщ ледникового материала. Самым величественным памятником ледниковой эпохи можно считать пельф Мирового океана. Внешний край шельфа имеет четкий перегиб к материковому склону. Во время своего образования перегиб во всем Мировом



КОЛЕБАНИЯ ГЛУБИНЫ ВНЕШНЕГО КРАЯ ШЕЛЬФА Атлантического океана. Заштрихованы глубокопогруженные участки шельфа. Нижняя кривая показывает, как изменяется ширина шельфа

океане находился примерно на одном уровне. Но с течением времени это единообразие было нарушено. Если посмотреть сейчас на подводную окраину материка со стороны океана, то внешний край шельфа представится в виде волнистой линии. У берегов Англии, Франции, Аргентины, Юго-Западной Африки эта линия опущена на глубину 150—400 м. У многих берегов Африки, Южной и Северной Америки она редко опускается ниже 100 м. А у берегов Бразилии глубина внешнего края шельфа составляет всего 60—70 м. Очевидно, колебания глубин внешнего края шельфа в Атлантическом океане достигают нескольких сотен метров.

Возникает вопрос, что же привело к нарушению единообразия этой древней береговой линии? Могут быть две причины: абразивно-аккумулятивные процессы и тектонические движения. Заметим, что абразия и аккумуляция на современных глубинах внешнего края шельфа пассивны и не могут существенно изменить его высотное положение. Единственным фактором изменения глубины края шельфа следует считать тектонические движения.

Можно перечислить районы, испытывавшие в последние 20—25 тыс. лет тектонические движения различного знака или сохранившие стабильность. К погруженным шельфам относятся шельфы Англии, Франции, Юго-Западной Африки, Испании, Мексиканского залива и некоторые другие. Поднятые шельфы располагаются у берегов Бразилии, вдоль восточного побережья США и в Центральной Америке. Наконец, на шельфах Америки и Африки немало районов, сохранивших с конца последнего оледенения стабильное положение. Максимальные скорости вертикальных движений шельфа в Атлантике нигде не превышали 1—1,5 см/год.

Если сопоставить погруженные и поднятые участки шельфов, то окажется, что опущенных шельфов значительно больше, чем поднятых. Это, по-видимому, свидетельствует об общей тенденции подводной окраины материка к погружению. Если такая тенденция сохранялась в течение длительного геологического времени, то площадь океана должна была постоянно возрастать.

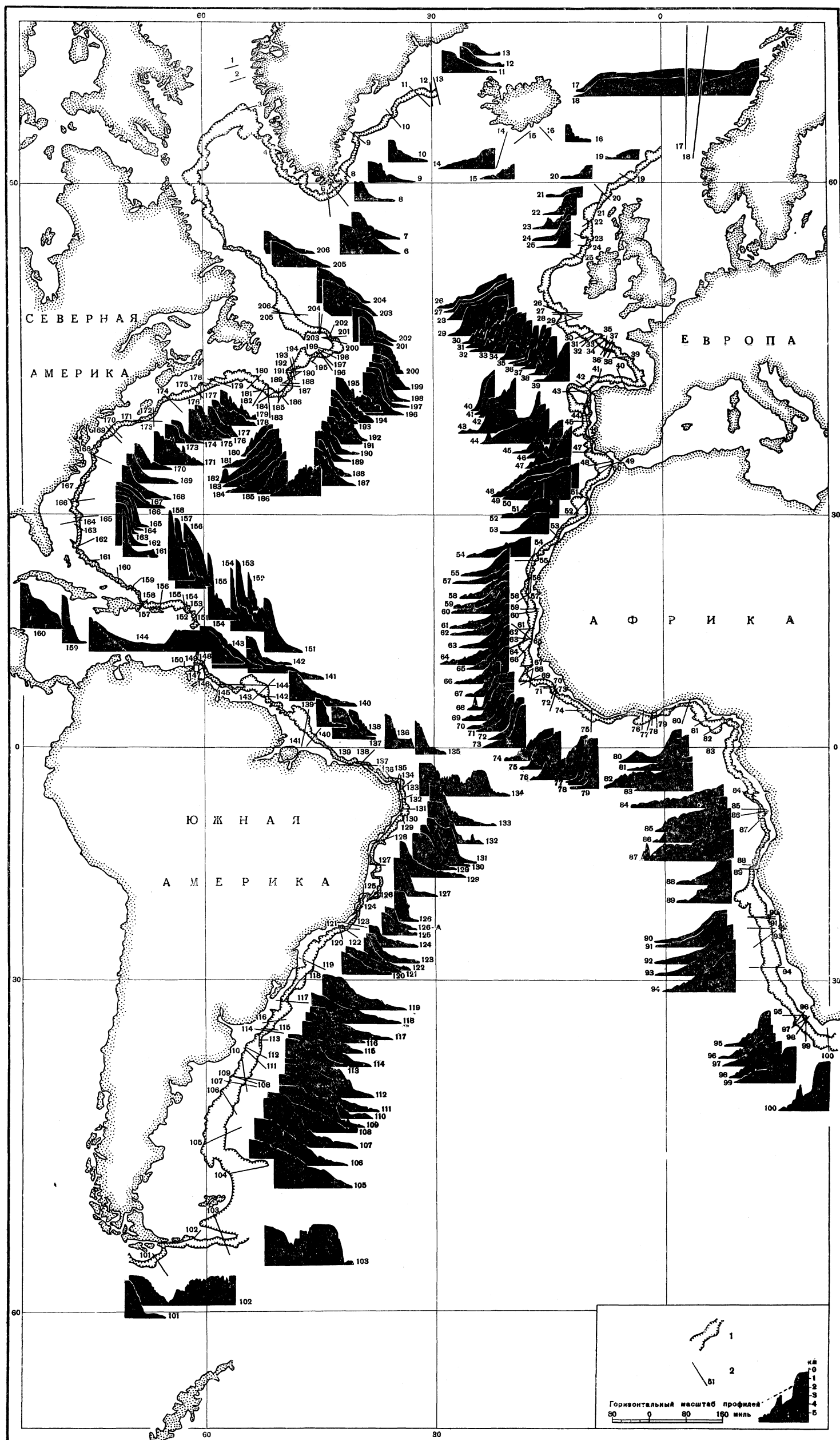
Последняя трансгрессия океана, связанная с четвертичным оледенением, была сравнительно недавно и шельфы сохранились повсеместно. Однако, если уровень океана не изменится в течение нескольких десятков

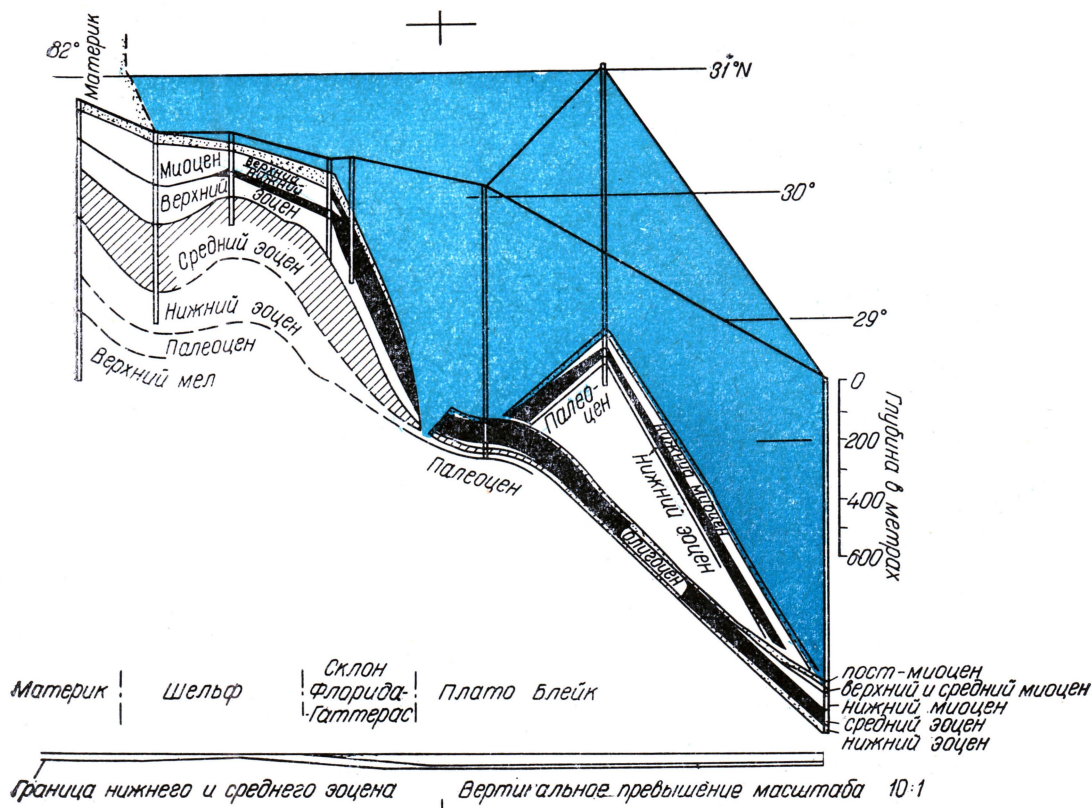
тысяч лет, то внешний вид современных шельфов станет неузнаваемым. Во многих районах, по-видимому, они исчезнут совсем. Многие из них превратятся в глубоководные, выдвинутые в океан плато, и будут расположены на разных глубинах. Собственно, это уже будут не шельфы, а действительно, погруженная окраина материка, несущая на себе отпечатки его геологического строения.

СБРОСЫ МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА

Картину эволюции подводной окраины материка дополняют особенности строения материкового склона. Верхняя граница склона соответствует внешнему краю шельфа, нижняя — подножию наиболее крутой части склона. Материковый склон — передний край материка. По его внешнему виду можно судить, насколько напряженной была тектоническая жизнь склона. Нигде в океане, за исключением рифтовых хребтов, рельеф не выглядит таким сложным, как на материковом склоне. Высочайшие уступы и глубокие каньоны рассекают его в разных направлениях. (А ведь в настоящее время материковый склон сейсмически пассивен и существенно выровнен осадками.) Если из глубоких депрессий материкового склона мысленно извлечь осадки и обнажить коренные породы, перед нами предстанет причудливо изрезанный рельеф. Но и существующие формы рельефа иногда поражают резкими контрастами. Среди них — высокий уступ Флориды,

СХЕМА МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА Атлантического океана. Склоны северной Атлантики у Гренландии, Ирландии и Лабрадора сильно отличаются от склонов более южных областей океана. Свообразны они у Гибралтара, Английского канала, Флориды, Испании, Пуэрто-Рико. Очевидно, эти различия обусловлены строением прилегающих частей материка. Резкая контрастность рельефа на склоне Бразилии соответствует тектонической раздробленности прилегающих материковых структур, а спокойные очертания склона Северной Африки отражают тектоническую стабильность береговых структур. 1 — граница крутой части склона, 2 — положение и номер профиля





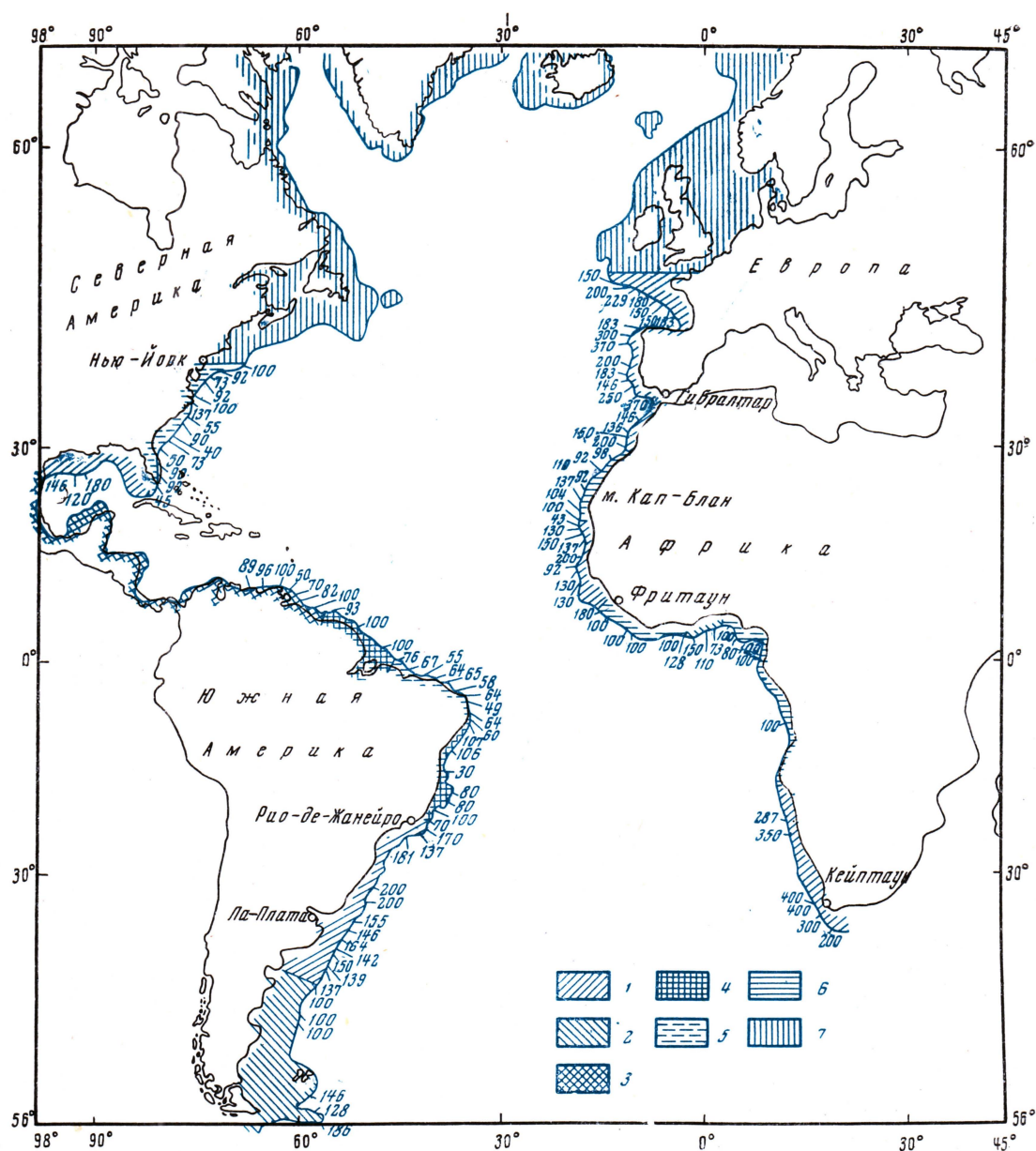
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПОДВОДНОЙ ОКРАИНЫ МАТЕРИКА к востоку от Флориды. Формы залегания горных пород в третичном разрезе района плато Блейк свидетельствуют о медленном погружении окраины материка. Образование самого плато, возможно, связано с развитием сбросов, которые происходили в меловое или более раннее время (использованы американские данные буровых и сейсмических исследований)

названный Великим сбросом Западной Флориды. Не менее грандиозны уступы Пендрагон к западу от Англии и плато Блейк у берегов Америки. Крупные уступы сбросового типа есть на склоне Бразилии, в Юго-Западной Африке, Гренландии и во многих других районах. В Атлантическом океане нет участков склона без сбросовых уступов. Следовательно, сбросовая природа склона не должна вызывать сомнений.

ПОДВОДНЫЕ КАНЬОНЫ

В морской геологии трудно найти проблему более дискуссионную, чем происхождение каньонов. Поперечный профиль каньонов, поразительно напоминающий профиль

реки, привел многих исследователей к мысли об эрозионном надводном происхождении этих форм рельефа. Сходство с речными долинами суши усиливается еще от того, что центральный каньон имеет, как правило, несколько боковых притоков. Согласно этой гипотезе, произошло одно из двух: либо склоны на длительное время обнажались, либо уже готовые речные долины погружались вместе с блоками земной коры. Геология не знает пока причин, которые вызвали понижение уровня океана на тысячи метров. Опускание же блоков земной коры с готовыми речными долинами должно было происходить очень быстро, поскольку каньоны врезаются не только в древние породы, но и в молодые, вплоть до четвертичных. Следовательно, оба варианта эрозионной гипотезы не согласуются с

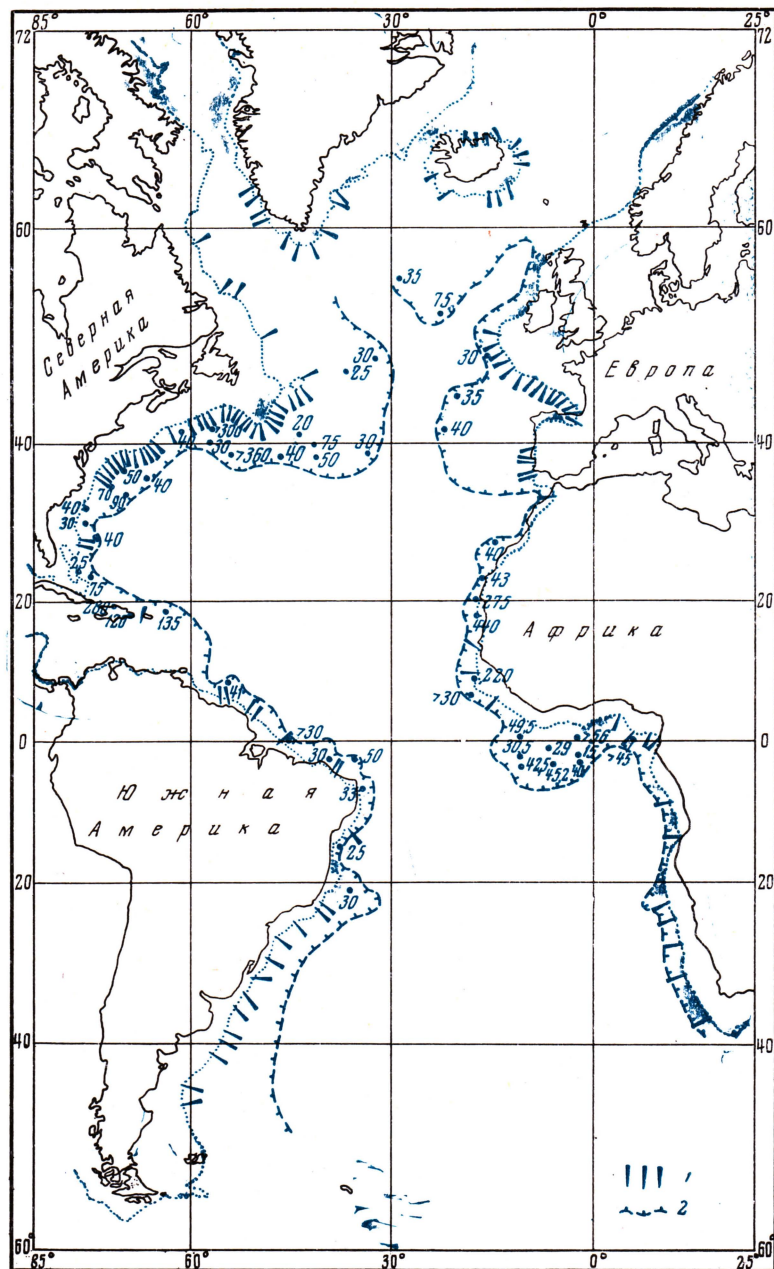


ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ ШЕЛЬФА Атлантического океана в послеледниковое время: 1 — участки погружения, 2 — стабильные участки с тенденцией к погружению, 3 — участки дифференцированных движений с преобладанием поднятий, 4 — стабильные участки с тенденцией к поднятию, 5 — участки поднятия, 6 — стабильные участки, 7 — шельфы ледниковых областей

фактами. Существует еще и «подводный» вариант: некоторые исследователи считают, что потоки ила и песка способны эродировать склон под покровом водной толщи.

Теперь уже хорошо известно, что ил и песок периодически сбрасываются по склонам на большие глубины. Однако остается нерешенным вопрос, могут ли эти потоки созда-

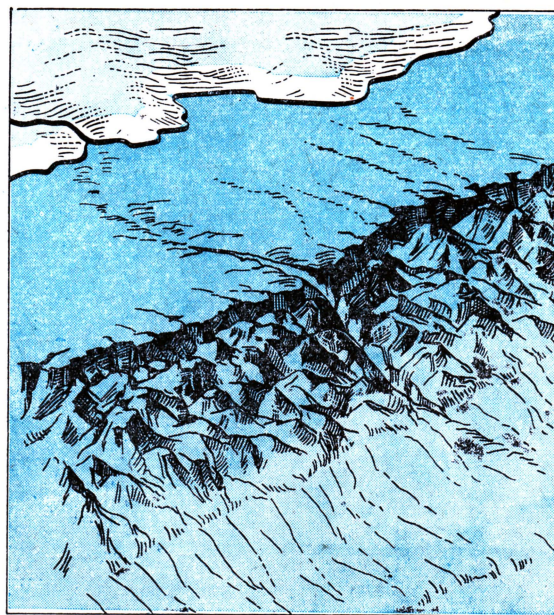
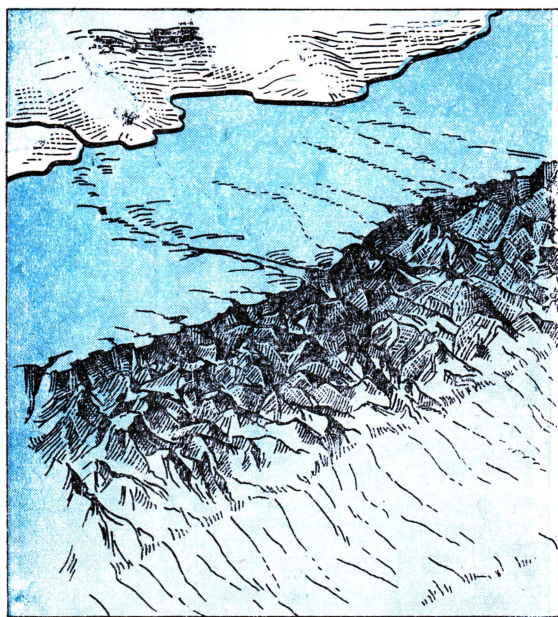
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОДВОДНЫХ КАНЬОНОВ и схема скоростей осадконакопления в окраинных частях океана: 1 — основные каньоны, 2 — граница зоны с высотой (30—100 см) мощностью голоценовых осадков — осадков послеледниковой эпохи четвертичного периода. Цифрами показаны фактические значения мощности голоценовых осадков на отдельных станциях, пунктиром — граница шельфа (по А. В. Ильину и А. П. Лисицыну, 1968)



вать каньоны? Представить себе подобный процесс, во всяком случае, не легко.

Кроме того, на дне каньонов и на их склонах нередко залегают линзы рыхлых отло-

жений, которые не могли бы существовать при постоянном эрозионном воздействии. Вместе с тем, недавние непосредственные наблюдения в подводных каньонах с ныряю-



щего «блюдца» Кусто показали, что там действуют некие мощные силы, способные перемещать огромные каменные глыбы. Был, например, проведен такой опыт. На дно каньона, на глубину около 30 м сбросили бетонный блок. Спустя несколько дней блока на месте не оказалось. А еще через некоторое время его нашли на глубине около 150 м, далеко от первоначального места.

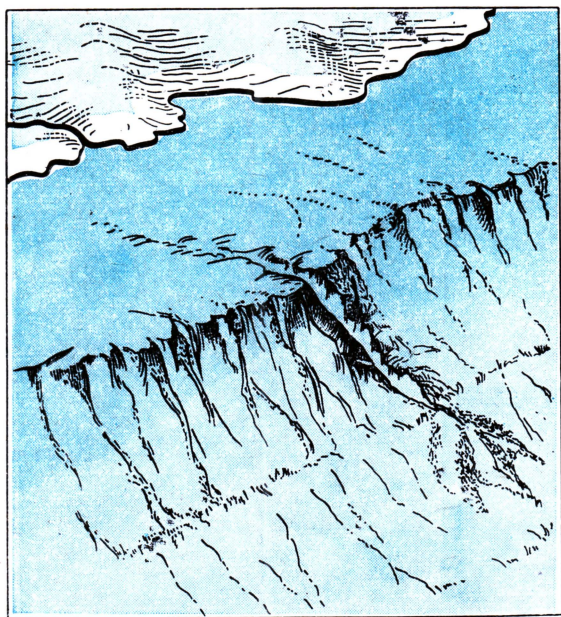
Непосредственные наблюдения в каньонах показали, что для них очень характерны отвесные, подчас нависающие стены и ступенчатый продольный профиль долин. Эти признаки, как будто, подтверждают тектоническую природу каньонов. Однако каньоны имеют преимущественно форму долин, а такие формы едва ли могут быть созданы только тектоническими движениями (несмотря на отвесные стены и резкие перепады дна на профиле).

Очевидно, ни одна из упомянутых гипотез в отдельности не может объяснить современную форму подводных каньонов и особенности их распространения. Значит, надо искать причины происхождения каньонов в комбинации различных процессов, происходящих на дне океана, в частности, на материковом склоне.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРИРОДУ ПОДВОДНЫХ КАНЬОНОВ

Если внимательно присмотреться к схеме распространения подводных каньонов в Атлантическом океане, можно отметить некоторые интересные факты. Прежде всего обращает на себя внимание неравномерность распределения подводных каньонов вдоль склона. Больше всего каньонов в районе Английского канала, побережья Франции, на материковом склоне США и Ньюфаундленда. Несколько меньше их на материковом склоне Аргентины, Юго-Западной Африки, и совсем мало в экваториальных и тропических частях Атлантики. Так, на склоне перед Сахарой, по-видимому, нет ни одного значительного каньона. Для объяснения этого факта следует искать связь между распространением каньонов и климатическими условиями прилегающих частей материка.

Какие климатические особенности наблюдаются в районах максимального распространения подводных каньонов? Во-первых, здесь выпадает много атмосферных осадков и велик сток речных вод в океан. Во-вторых, это районы, на северной границе которых в последнюю ледниковую эпоху остановился



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ КАНЬОНОВ. На первом этапе существует раздробленный тектонический рельеф. Второй этап соответствует выравниванию рельефа склона осадками. Исключения представляют тектонические трещины и разрывы, расположенные вкrest простираения склона. Они изменяются под действием потоков терригенного материала. На третьем этапе склон почти выровнен, за исключением тех районов, где обильно поступающий терригенный материал формирует долинную сеть каньонов с притоками

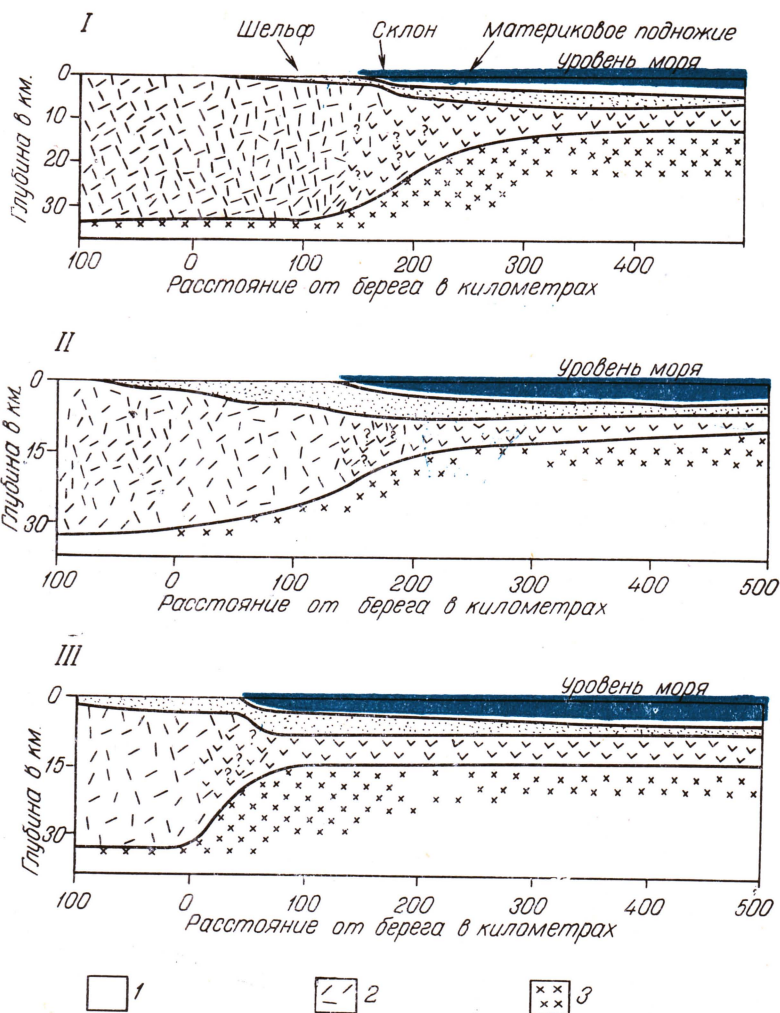
ледник. Минимальное количество каньонов отмечается на склонах бессточных областей суши. Промежуточное количество каньонов соответствует столь же промежуточным показателям водного стока в океан. Правда, по сравнению с побережьем Англии, Франции и США в экваториальной зоне осадков в настоящее время выпадает больше. Но, рассматривая общий баланс стока на земном шаре, мы учитываем в северных областях потоки талых вод ледников. А эти потоки, несомненно, превышали сумму атмосферных осадков экваториальной зоны.

Какая же связь между материковым стоком в океан и подводными каньонами? Представим себе, что первоначальный материковый склон был интенсивно раздробленной зоной тектонического рельефа. Затем в процессе развития склона происходило преобразование первичного рельефа. Многие резкие черты были сглажены, депрессии заполнены донными отложениями, особенно те из них, которые простирались вдоль склона. В районах же обильного стока наземных вод, содержащих большое количество взвешенного терригенного материала, постоянно происходила расчистка первичных тектонических форм рельефа, расположенных поперек скло-

на. Замкнутые котловины на дне и склонах первичных форм заполнялись наносами. Потоки наносов, подобно скульптору, придавали резким очертаниям пластичные формы: крупные тектонические провалы и трещины на склоне принимали облик речных долин. Кое-где, по-видимому, песчаные и илистые потоки производили самостоятельную эрозионную работу.

Если следовать этой схеме образования подводных каньонов, то надо предположить, что перед устьями всех крупных рек должны существовать каньоны. В действительности так оно и есть. Самые крупные каньоны находятся перед устьями Миссиссиппи, Гудзона, Инда, Ганга, Тахо, Конго, Ла-Платы и многих других рек. Иногда каньоны располагаются не на прямом продолжении устья реки, а несколько смещены в сторону. По-видимому, поток наносов, распространяющийся от устья реки, «находил» подходящий тектонический разрыв в стороне от речного устья.

Не все каньоны имеют прямолинейное русло. Многие из них отличаются изломанностью очертаний. Это лишний раз указывает на приспособляемость мутовых потоков (потоков донных наносов) к очертаниям тектонических форм.



ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ подводной окраины Северной Америки: 1 — осадки, 2 — земная кора, 3 — мантия Земли; I — разрез от Вудсхолла; II — разрез от мыса Мэй; III — разрез от мыса Гаттерас (по Ж. Л. Уорзелу, 1965)

Подводные каньоны, в геологическом масштабе времени, очень молоды. Ведь климатические условия меняются довольно быстро (по сравнению с возрастом склонов), значит, современное распределение каньонов отвечает лишь современным климатическим зонам. При ином расположении климатических зон изменятся и центры сосредоточения подводных каньонов. Так, например, если Сахара окажется в будущем во влажной климатической зоне и по ней будут стекать в океан реки, то на материковом склоне перед Сахарой начнут развиваться подводные каньоны. Потоки песка и ила размоют рыхлые отложения и «доберутся» до первичных тектони-

ческих форм рельефа. Начнется новый цикл формирования подводных каньонов.

О связи происхождения подводных каньонов с выносом в океан рыхлых отложений свидетельствуют и темпы накопления осадков за последние 11 тыс. лет. Рыхлый материал, выносимый с материкового склона, отлагается на дне глубокого океана. Однако распределяется он там крайне неравномерно. Максимальное накопление осадков происходит в зоне, непосредственно примыкающей к материковому склону. Эта зона получила название материкового подножия. Ее также включают иногда в подводную окраину материка. Материковое подножие занимает

полосу дна шириной до нескольких сотен километров. Морфологически оно представлено пологонаклонной равниной. Мощность осадочной толщи в этой зоне составляет 5—10 км. Под мощными толщами осадочного материала обнаружены прогибы земной коры.

НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОЙ ОКРАИНЫ МАТЕРИКА

Мы рассмотрели отдельные аспекты развития подводной окраины материка. Они ясно показывают, что подводная окраина в Атлантическом океане пережила сложную геологическую историю. Главным результатом предшествующего развития этой зоны явились крупные тектонические погружения типа флексуры*, осложненной многочисленными сбросами, накопление мощных толщ осадочных пород на материковом подножии и видимые деформации шельфа.

Причины тектонического развития подводной окраины материка обусловлены ее внутренним строением. Нетрудно заметить, что внешний вид шельфа материкового склона и материкового подножия, как в зеркале, отражается во внутренней структуре этих зон. Поверхность Мохоровичича расположена под шельфом на глубине порядка 30 км. По мере опускания материкового склона в глубины океана, эта поверхность поднимается ему навстречу. Земная кора становится все тоньше. Под материковым подножием земная кора выклинивается и уступает место коре океанического типа. Переход совершается в полосе шириной 100—200 км, а наиболее резкие градиенты мощности земной коры под склоном наблюдаются там, где глубины океана составляют около 2000 м. Создается впечатление, что чем тоньше земная кора, тем труднее ей выдерживать внешнюю нагрузку, и по мере приближения к океану земная кора материков погружается. Погружению, вероятно, способствует накопление мощных толщ рыхлых осадков.

Если пренебречь второстепенными формами рельефа материкового склона и пред-

ставить его поперечный профиль сглаженным, то мы получим характерную плавную спадающую кривую (экспоненту). Такая форма профиля говорит о том, что погружение земной коры и накопление осадочной толщи материкового подножия находятся в динамическом равновесии. Накопление осадков компенсируется погружением земной коры. Именно такой процесс мог способствовать формированию крупных краевых прогибов и накоплению мощной осадочной толщи (до 10 км) в пределах подводной окраины материка. Это подлинные геосинклинальные формации. Будут ли эти современные геосинклинали превращены в складчатые горы или их развитие пойдет по другому пути? Пока не существует однозначного решения этой проблемы. Поэтому и вопрос о направленности развития материков и океанических впадин остается открытым. Для того чтобы наиболее правдоподобно объяснить особенности строения подводной окраины материков, придется, по-видимому, признать существование процессов растяжения в земной коре.

* Флексура — пологая, плавно изогнутая складка земной коры.

Гравитационный коллапс*

К. Т О Р Н
профессор

Гравитация может привести вещество к необычному состоянию. Это произойдет, например, если звезда достигнет некоторого критического размера, при котором гравитация подавляет все остальные силы.

Гравитационный коллапс — стремление системы материальных тел приблизиться к общему центру тяжести — играет основную роль в формировании Вселенной. Рождение звезд, образование звездных скоплений и даже, по-видимому, образование галактик оказывается возможным благодаря гравитационному коллапсу. И именно из-за него некоторые звезды, скопления звезд и, вероятно, галактики, в конце концов, погибают. Таким образом, гравитационный коллапс является в астрофизике одновременно и «повивальной бабкой» и «могильщиком».

Доминирующая роль гравитации в астрофизических явлениях может показаться парадоксальной, поскольку на расстояниях, характерных для атомных и ядерных процессов, гравитация — самая слабая из всех четырех известных видов сил. Так, «слабое» взаимодействие, приводящее к радиоактивному распаду атомных ядер, сильнее гравитации в 10^{25} раз; электромагнитные силы, связывающие атомы и молекулы, сильнее в 10^{37} раз, а ядерные силы, которые удерживают нуклоны в ядре, превосходят гравитацию в 10^{39} раз. В астрофизических явлениях силы притяжения огромного числа атомов (10^{57} для Солнца) объединяются, образуя одну гигантскую силу, тогда как ни одна из остальных сил не может суммироваться так эффективно. Следовательно, в астрофизических явлениях гравитация может подавлять все другие силы, становясь единственной, непреодолимой силой.

Роль гравитационного коллапса как «повивальной бабки» и «могильщика» объясняется следующим образом. Исходным материалом, из которого рождаются звезды, звездные скопления и галактики, является разреженный газ, преимущественно водород. Иногда большое сгущение этого газа, возникшее в результате случайного сближения соседних маленьких сгущений, начинает коллапсировать вследствие взаимного гравитационного притяжения своих частиц. Поскольку гравитационное притяжение между любыми двумя частицами быстро возрастает по мере сокращения расстояния между ними, процесс коллапса ускоряется. Он не может быть остановлен до тех пор, пока большие турбулентные движения, созданные внутри коллапсирующей массы, не обеспечат достаточного теплового давления, которое уравновесит гравитацию. Когда это произойдет, сгущение становится звездой, звездным скоплением или галактикой. (В дальнейшем мы будем рассматривать галактику как гигантское звездное скопление.)

Достигнув своего нового состояния равновесия, объект — звезда или звездное скопление —

* «Scientific American», 217, 5, 1967. Перевод с английского Л. П. Гришука и Т. В. Черезовой. Статья печатается с сокращениями. Более подробно о рассмотренных вопросах см. в книгах Дж. Уилера, Б. Гармсона, М. Вакано, К. Торна «Теория гравитации и гравитационный коллапс» («Мир», 1967) и Я. Б. Зельдовича, И. Д. Новикова «Релятивистская астрофизика» («Наука», 1967).

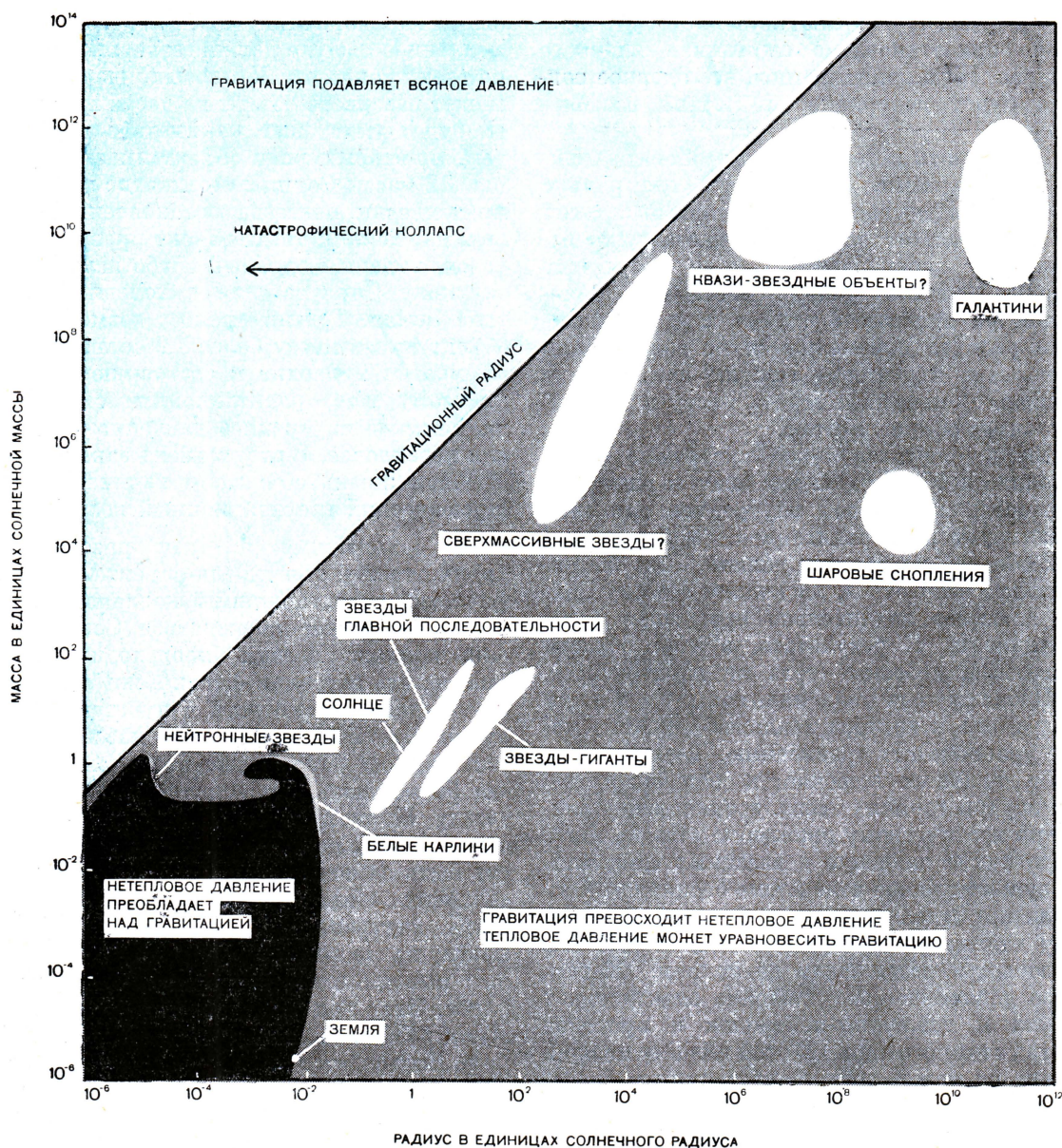


ДИАГРАММА МАССА-РАДИУС. Все известные объекты, которые находятся за пределами солнечной системы, лежат в правой части диаграммы, где гравитация превышает тепловое давление, но может быть уравновешена тепловым. Тепловое давление постепенно ослабевает и гравитационные силы сжимают объект. Сжатие заканчивается одним из трех процессов: либо гравитацию уравновешивает тепловое давление (объекты типа Земли, белые карлики, нейтронные звезды), либо ядерный взрыв уничтожает объект, либо начинается катастрофический гравитационный коллапс

ние — не может быть всегда стабильным. Его энергия постепенно рассеивается в окружающем пространстве. Звезды излучают энергию

в виде тепла и света. Скопления теряют энергию в результате «испарения» звезд. По мере того как объект теряет энергию, он постепен-

но сжимается. Это сжатие может быть временно приостановлено сжиганием ядерного топлива. Но в конце концов, все ядерное топливо будет исчерпано, и сжатие возобновится.

Проследить историю такого объекта можно на диаграмме масса-радиус, где радиус объекта откладывается вдоль горизонтальной оси и возрастает направо, а масса откладывается по вертикальной оси и возрастает вверх. Коллапсирующая масса газа появляется на диаграмме справа, и с уменьшением радиуса перемещается по горизонтали влево. При медленном сжатии звезда (или скопление) начинает терять массу и медленно двигается вниз и влево.

Внизу слева на такой диаграмме будут находиться объекты малых масс и радиусов, в которых нетепловое внутреннее давление доминирует над гравитацией. Любое тело в этой области диаграммы должно было бы немедленно взорваться, поскольку его внутреннее давление значительно превышает силы притяжения. В результате, в этой области диаграммы небесные тела не наблюдаются.

Наблюдаемые тела занимают ту область диаграммы, в которой тепловое давление может уравновесить гравитацию. Термин «тепловое давление» включает в себя как давление внутри горячих звезд, возникающее благодаря хаотическому движению атомов, так и аналогичное давление в звездных скоплениях, существующее вследствие беспорядочного движения отдельных звезд. В верхнем левом углу диаграммы гравитация доминирует над тепловым и нетепловым давлением. (Нетепловое давление — это давление электронов в атомах и давление нейтронов и протонов внутри атомного ядра.) В этой области ни один объект не может достичь состояния равновесия, так как гравитация превышает внутреннее давление объекта и приводит его к катастрофическому гравитационному коллапсу.

Звезда или звездное скопление не могут своим внутренним тепловым давлением бесконечно долго уравновешивать силу гравитации, пока объект перемещается влево на диаграмме масса-радиус. Через промежуток времени от миллиона до 10 миллиардов лет для звезд, сжатие которых временно остановлено ядерными процессами, и через промежуток времени, продолжительностью больше современного возраста нашей Вселенной*, для

* Речь идет о времени с начала расширения Мелкого Галактики. (Прим. ред.).

звездных скоплений (включая и галактики) медленное сжатие должно завершиться одним из трех процессов. Во-первых, ядерный взрыв может разорвать объект на части прежде, чем он будет уничтожен каким-либо другим путем. Во-вторых, если объект имеет массу менее 1,2 массы Солнца, его сжатие может быть практически навсегда остановлено нетепловым давлением; тогда объект превращается в белый карлик, подобный слабо излучающему спутнику Сириуса, или в холодный объект типа Земли. Третий процесс возможен, если объект имеет массу более 1,2 солнечной; тогда сжатие приводит к состоянию настолько плотному, что гравитационная сила подавляет всякое внутреннее давление — тепловое или нетепловое. В этот момент заканчивается обычная жизнь объекта и начинается катастрофический гравитационный коллапс.

В дальнейшем я буду рассматривать именно третий тип гибели объекта. Катастрофический гравитационный коллапс непосредственно не может наблюдаться. Согласно теории, коллапс звезды происходил бы так быстро, что астроном фактически не имел бы возможности посмотреть в нужную точку в нужный момент, чтобы его наблюдать. Но, если бы ему даже и посчастливилось, он не мог бы осознать, что видит коллапсирующую звезду. Признаки коллапса — внезапное угасание и исчезновение звезды на небе — могут быть замаскированы светом от внешней оболочки звезды, излучаемым в то время, когда внутренность коллапсирует. Тем не менее, на теоретической основе можно сделать вывод о стадиях катастрофического коллапса. Этот тип коллапса был изучен впервые в 1939 г. Р. Оппенгеймером и Х. Снайдером. Более детальное изучение началось в 1960 г., когда возникло подозрение, что коллапс может быть источником огромного потока энергии, излучаемой сверхновыми звездами и загадочными квазарами.

Если звезда начала коллапсировать, то ее дальнейшая судьба — остановка или продолжение этого процесса — зависит от того, достигнет ли звезда критического размера, т. е. станет ли ее радиус равным так называемому **гравитационному радиусу**. Коллапс может быть остановлен за пределами этого радиуса, но никогда — внутри него. Подобным образом энергия может излучаться только коллапсирующей звездой с радиусом, превышающим гравитационный, но не звездой, которая

уже сжалась настолько, что ее радиус стал меньше гравитационного.

Для объекта массы M (в граммах) гравитационный радиус R_g (в сантиметрах) определяется уравнением: $R_g = 2GM/c^2$, где G — гравитационная постоянная ($6,67 \times 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{сек}^{-2}$) и c — скорость света ($2,998 \times 10^{10} \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$). Из этого уравнения следует, например, что гравитационный радиус Солнца равен $2,9 \times 10^5 \text{ см}$, или около 3 км. Плотность Солнца в таких условиях (т. е. если радиус Солнца был бы равен его гравитационному радиусу) превышала бы ядерную плотность в 50 раз. Интересно, что гравитационный радиус человека весом 80 кг равен $1,4 \times 10^{-23} \text{ см}$, или одной десятибиллионной от размера атомного ядра, а соответствующая плотность — в 10^{58} раз выше ядерной.

Современные исследования показывают, что только наиболее массивные звезды могут коллапсировать после выгорания всех запасов термоядерной энергии до своего гравитационного радиуса. Менее массивные звезды, вероятно, коллапсируют до определенного предела, и затем взрываются, образуя, по всей видимости, сверхновые звезды, которые в среднем раз в столетие наблюдаются астрономами в каждой галактике.

Опишем теперь важнейшие события, которые, как предсказывает теория, наступят, когда звезда пройдет через свой гравитационный радиус.

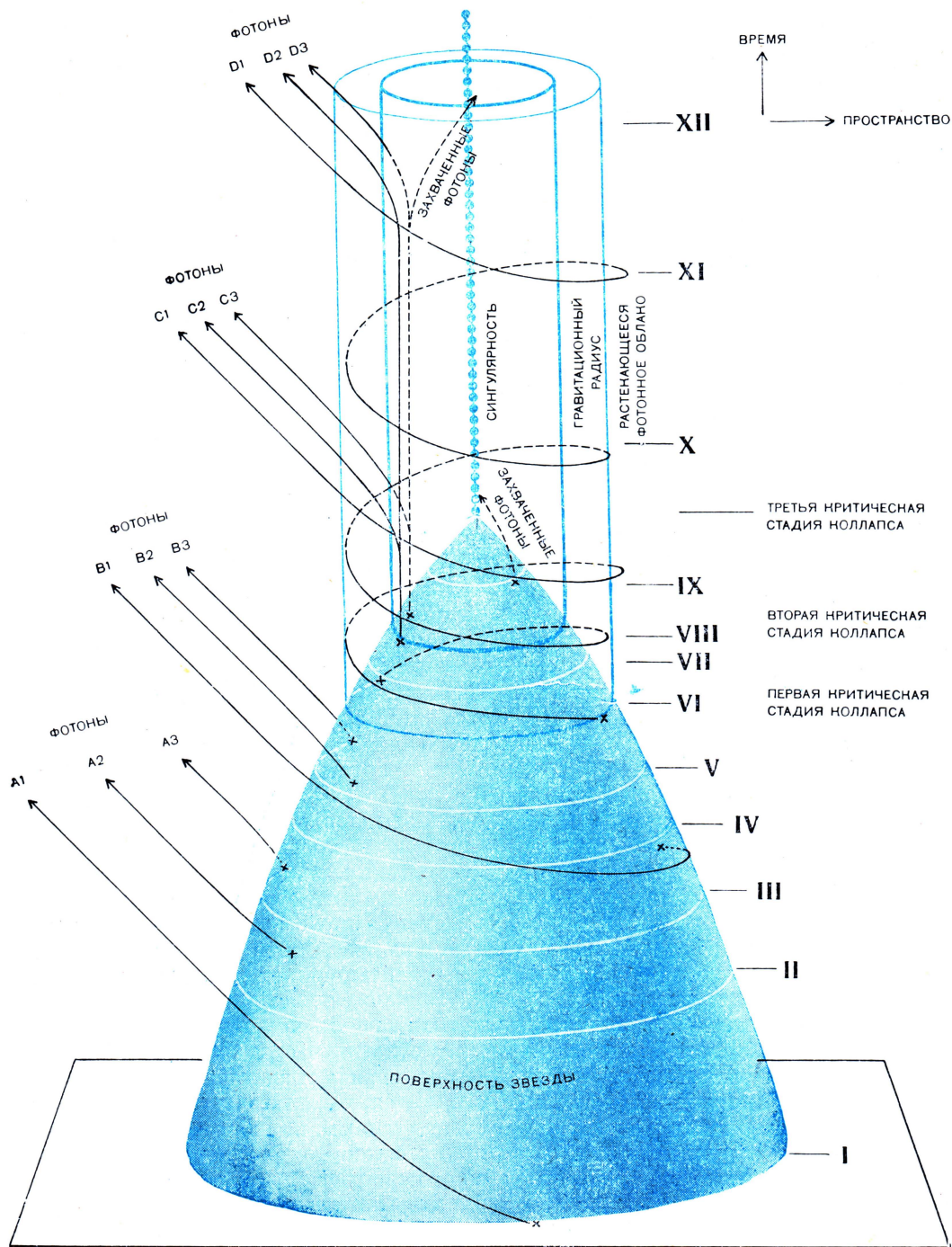
Предположим, что мы наблюдаем массивную звезду, ядерное горючее которой было израсходовано в течение нескольких миллиардов лет, а тепловое давление, противостоящее силе тяжести, ослабевает. Звезда начинает коллапсировать вначале медленно, затем быстрее. Так как температура поверхности звезды не менее нескольких тысяч градусов, звезда продолжает излучать фотоны, или кванты света. Фотоны, покидающие поверхность звезды под углом, движутся по искривленным орбитам под действием гравитационного поля звезды, в соответствии со знаменитым предсказанием общей теории относительности Эйнштейна. Чем дальше развивается коллапс, тем большей становится интенсивность гравитационного поля и сильнее искривляются орбиты фотонов. До тех пор, пока звезда не сожмется до размеров в полтора гравитационных радиуса (точка, называемая

первой критической стадией), все фотоны, испускаемые с поверхности, в конце концов, уходят в окружающее пространство и могут быть видимы внешним наблюдателем, находящимся далеко от коллапсирующей звезды. Фотоны, излучаемые по касательной к поверхности звезды, достигшей первой критической стадии, захватываются гравитационным полем в сферическое облако, из которого потом медленно рассеиваются. Следовательно, внешний наблюдатель даже на последних стадиях коллапса будет видеть край звезды таким, каким он был, когда радиус звезды в 1,5 раза превосходил гравитационный.

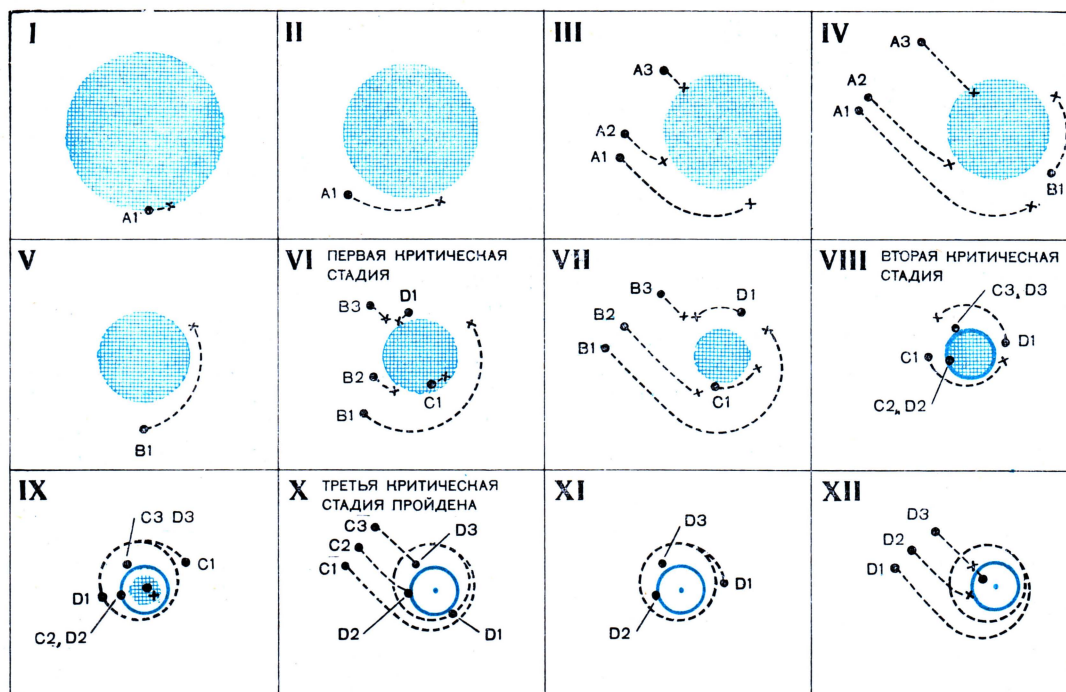
По мере развития коллапса повышается напряженность гравитационного поля звезды и все большее число излученных ранее с ее поверхности фотонов захватывается вновь. Коллапс достигает второй критической стадии, когда звезда сожмется до размеров гравитационного радиуса. В этот момент только те фотоны, которые покидают звезду перпендикулярно к ее поверхности, могут уходить в окружающее пространство. Они образуют второе облако непосредственно за гравитационным радиусом. Мгновением позже, когда звезда пройдет через гравитационный радиус, ни один фотон уже не может уйти в окружающее пространство. Внешнему наблюдателю будет видна незначительная часть фотонов, оставшихся в облаках. Следовательно, наблюдатель видит центр звездного диска таким, каким он был в момент, когда звезда достигла размеров гравитационного радиуса, а край звезды — таким, каким он был в момент, когда звезда имела размеры в 1,5 гравитационных радиуса.

Внешний наблюдатель должен также заметить качественную разницу между фотонами в облаках. Когда фотоны, скопившиеся в облаке вблизи гравитационного радиуса, рассеиваются, диск звезды становится не только более тусклым, но и более красным. Объясняется это тем, что фотоны, которые отрываются от поверхности звезды позже, теряют больше энергии, преодолевая возрастающую силу гравитации, чем те, которые оторвались раньше. Из облака размером в 1,5 гравитационных радиуса фотоны растекаются с постоянной энергией, и поэтому ободок звезды не меняет цвета.

Каковы масштабы времени катастрофического коллапса? Для внешнего наблюдателя этот процесс очень краток. Находящейся в процессе коллапса звезде с массой в 10 сол-



СФЕРИЧЕСКИЙ ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС звезды можно изобразить на пространственно-временной диаграмме, где ось времени направлена вверх, а два из трех пространственных измерений представлены горизонтальной плоскостью. Сильное гравитационное поле коллапсирующей звезды искривляет пространственно-временные траектории фотонов, излученных звездой. Принимая эти фотоны, внешний наблюдатель следит за процессом коллапса, который характеризуется тремя «критическими» стадиями. (Римскими цифрами обозначены различные этапы коллапса звезды). Фотоны A1, A2, A3 и B1, B2, B3 покинули поверхность звезды до наступления первой критической стадии коллапса, а фотоны C1, C2, C3 и D1, D2, D3 — между первой и второй критическими стадиями



СТАДИИ ЗВЕЗДНОГО КОЛЛАПСА (римские цифры и буквенные обозначения соответствуют обозначениям на предыдущем рисунке). Не все эти «моментальные фотографии» сможет увидеть внешний наблюдатель. На них в пространственно-временной системе координат самой звезды показано состояние звезды и фотоны, излученные с ее поверхности. Траектории фотонов, которые искривляются сильным гравитационным полем звезды, представлены пунктирными линиями. Если крестик, соответствующий началу траектории, лежит вне звездного диска, то это означает, что фотон покинул поверхность звезды в момент, когда звезда была больших размеров. Например, на «фотографии III» фотон A2 покинул поверхность звезды вскоре после момента, изображенного на «фотографии II». Когда звезда достигнет первой критической стадии коллапса (VI), фотоны C1 и D1, только что излученные по касательной к ее поверхности, захватываются гравитационным полем звезды в растекающееся фотонное облако. Их дальнейшая судьба показана на последующих фотографиях. Фотоны C2, C3, D2 и D3, излученные перпендикулярно к поверхности звезды, когда звезда прошла вторую критическую стадию (VIII), захватываются в сферическое облако меньших размеров (цветное) на гравитационном радиусе. Они еще могут достичь внешнего наблюдателя. Ни один из фотонов, покинувших поверхность звезды, когда та прошла свой гравитационный радиус, внешний наблюдатель никогда не увидит. Эти фотоны увлекаются в область сингулярности.

нечных масс требуется только 0,0005 секунды, чтобы ее видимый радиус сократился со 135 км до 80 км, т. е. до радиуса облака фотонов, образованного в первой критической стадии. В каждые последующие 0,0005 секунды, хотя радиус звезды для внешнего наблюдателя будет оставаться почти неизменным, яркость ее уменьшается приблизительно на две величины, и звезда быстро становится невидимой. Так как время коллапса пропорционально массе звезды, более массивные звезды должны коллапсировать медленнее.

Несмотря на то, что внешний наблюдатель никогда не увидит коллапса звезды за ее гравитационным радиусом, воображаемый наблюдатель, стоящий на поверхности звезды, сможет следить за всем процессом коллапса. Проходя гравитационный радиус, этот наблюдатель не почувствует какого-либо удара и не увидит никакой демаркационной линии. Однако для него, так же как и для внешнего наблюдателя, гравитационный радиус — критическая точка: если звезда прошла через гравитационный радиус, наблюдатель нико-

да не сможет вырваться наружу. Под гравитационным радиусом все вещество и излучение неизбежно сжимаются, и звезда приближается к третьей критической стадии и коллапса — **сингулярности**, которой заканчивается сферический гравитационный коллапс. В данном случае, сингулярность — область пространства-времени, где бесконечно мощные гравитационные силы деформируют вещество и излучение до неузнаваемости.

Физики часто имели дело с теориями, которые предсказывали возникновение сингулярного физического состояния материи. В прошлом, когда сингулярности появлялись в теории, они служили признаком неприменимости теории. Например, в начале нынешнего столетия обладала сингулярностью модель атома Эрнеста Резерфорда. Согласно этой теории, ничто не препятствовало падению электронов, вращающихся вокруг атомного ядра, на само ядро, а значит, ничто не препятствовало и разрушению атома. Нильс Бор понял, что этот вывод сигнализирует о крушении классической механики и что изменение теории (квантование энергии атома) может спасти атом от разрушения. Впоследствии квантовая теория успешно применялась для решения проблемы строения атома.

Возможно, прав Дж. Уилер (Принстонский университет), который рассматривает сингулярную конечную точку гравитационного коллапса как признак того, что всюду, где пространство-время очень сильно искривлено, гравитационное поле Эйнштейна должно квантоваться, т. е. принимать дискретный характер. Таким образом, природа может избежать сингулярности, совершенно изменив в области сингулярности законы физики и непрерывную детерминистическую природу пространства-времени. Хотя полная квантовая теория гравитации еще не создана, можно быть совершенно уверенным, что такая теория, примененная к проблеме гравитационного коллапса, будет действовать только в области пространства-времени вблизи сингулярности. Динамика коллапса на гравитационном радиусе и вне его останется неизменной.

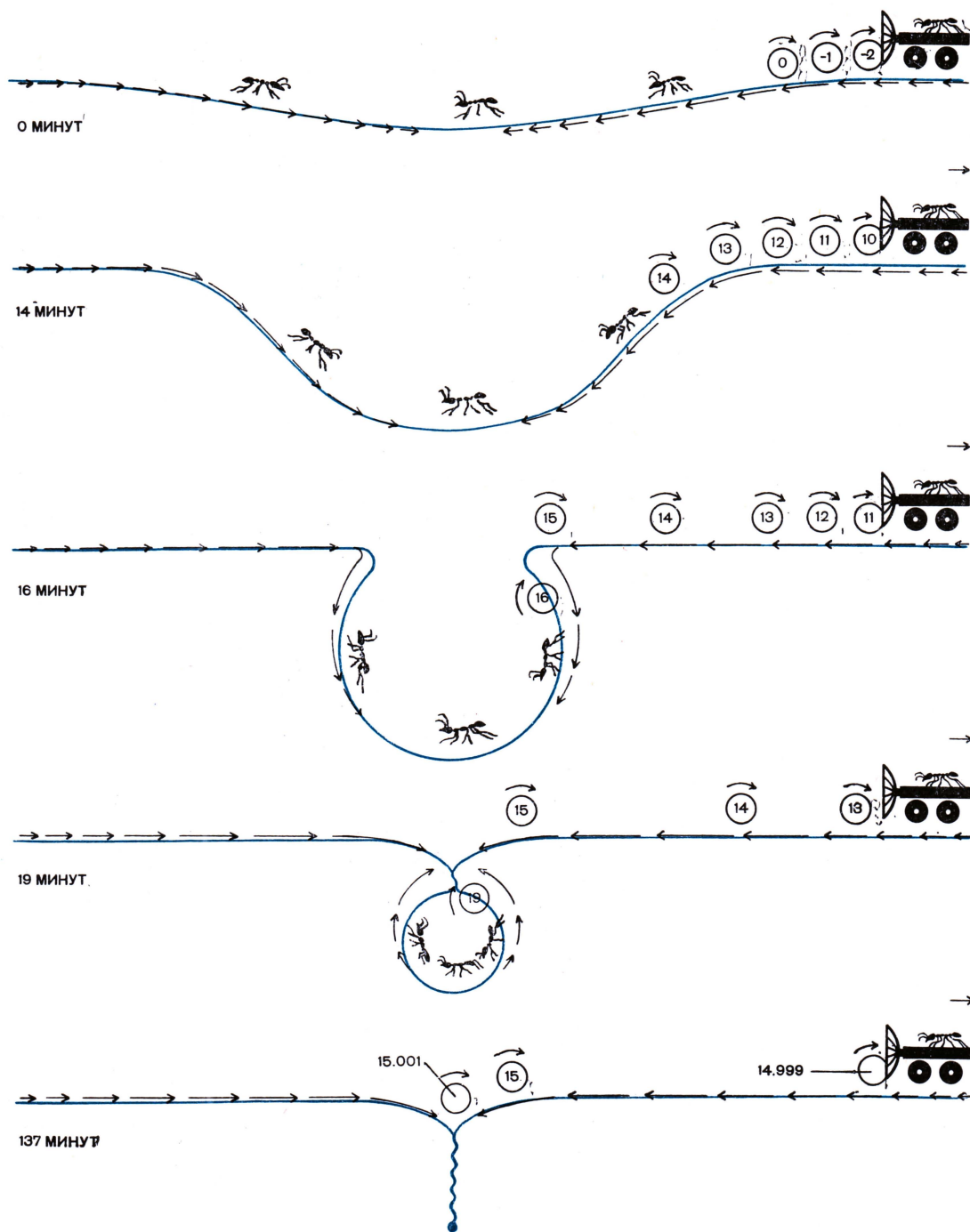
Картину сферического гравитационного коллапса, вероятно, сделает понятнее следующая фантастическая аналогия. Представим

себе, что четыре муравья живут на большой тонкой резиновой мембране. Эти муравьи установили связь друг с другом посредством сигнальных шариков, которые катятся с постоянной скоростью (скоростью света) по поверхности мембраны. К сожалению, муравьи не вычислили прочность мембраны.

Однажды три муравья встретились около центра мембраны, и под действием их веса начался коллапс. Четвертый муравей — астроном со своим «телескопом» в этот момент был на безопасном расстоянии. Три муравья, пойманные коллапсом, решили, что лучше покориться судьбе, чем пытаться убежать. Когда коллапс начал развиваться, один из муравьев послал свои сигнальные шарики в надежде, что они дадут возможность муравью-астроному следить за развитием коллапса.

Коллапс мембраны характеризовался двумя видами движений. Первый вид движения — это сокращение поверхности мембраны, которое, как и гравитационное притяжение звезд, увлекало окружающие объекты в направлении центра коллапса. Второй — кругое изгибание поверхности, которое, подобно кривизне пространства-времени в коллапсирующей звезде, приведет, в итоге, к бесконечной плотности в области коллапса.

По мере развития коллапса мембрана сокращалась быстрее и быстрее. В результате сигнальные шарики, которые посылались коллапсирующим муравьем через равные промежутки времени, астроном-муравей получал все с большими и большими интервалами (аналогично тому, как свет становится все более красным с повышением интенсивности гравитационного поля). Шарик № 15 был отправлен через 15 минут после начала коллапса, как раз в тот момент, когда коллапсирующий муравей провалился под гравитационный радиус. Этот шарик навсегда остался на этом радиусе, потому что мембрана в этой точке сжималась точно со скоростью сигнала. За 0,001 минуты перед достижением гравитационного радиуса коллапсирующий муравей отправил шарик № 14,999. Этот шарик, чуть-чуть опережавший сжимающуюся мембрану, достиг муравья-астронома через 122 минуты. Шарик № 15,001, отправленный через 0,001 минуты после прохождения гравитационного радиуса, вообще не смог выбраться наружу. С точки зрения коллапсировавших муравьев, процесс коллапса закончился сингулярным состоянием бес-



КОЛЛАПСИРУЮЩАЯ РЕЗИНОВАЯ МЕМБРАНА населенная муравьями,— фантастическая аналогия гравитационного коллапса звезды. Три муравья вызвали коллапс тонкой мембраны. Один из них через определенные промежутки времени посылает четвертому муравью — астроному сигнальные шарики, которые принимаются «телескопом»

конечной плотности через 20 минут. Но с точки зрения муравья-астронома, единственным источником информации которого были сигнальные шарики, для достижения гравитационного радиуса требуется бесконечное время.

Эта аналогия гравитационного коллапса звезды удивительно точно воспроизводит не только то, что видел бы внешний наблюдатель и что мог бы видеть наблюдатель, находившийся внутри звезды, но также и то, как при сферическом гравитационном коллапсе пространство-время чрезвычайно сильно искривляется и достигается сингулярное состояние вещества.

До сих пор я рассматривал только гравитационный коллапс сферически-симметричных невращающихся объектов. Что произошло бы в более реальной ситуации? Поскольку математический анализ реальных ситуаций очень труден, нельзя дать определенный ответ на этот вопрос. Однако в 1964 г. Роджер Пенроуз (Биркбекский колледж Лондонского университета) доказал сильную теорему, которая раскрывает сущность гравитационного коллапса в реальных ситуациях.

Теорема Пенроуза, грубо говоря, гласит следующее: в реальном несферическом коллапсе, так же как и в сферическом, может быть достигнута критическая стадия, после которой коллапсирующий объект не будет иметь никаких связей с внешней Вселенной*. Как только эта стадия будет пройдена, могут произойти одно или оба из следующих двух «патологических» событий. Либо геометрия пространства-времени станет сингулярной, как это имеет место в случае сферического коллапса, либо, что еще более странно, Вселенная, с которой прежде у нас не было контакта, может вдруг присоединиться к нашей Вселенной при помощи коллапса. Это означает, что коллапсирующий объект начнет расширяться, но в пространстве другой Вселенной.

* Имеется в виду, что свет или какое-либо другое излучение не может уйти от коллапсирующего тела к далеким областям Вселенной. Однако его гравитационное поле останется и будет неизменно проявляться во Вселенной. Заметим, что сигналы из внешнего мира могут достигать коллапсирующее тело (Прим. ред.)

Не останавливаясь на доказательстве этой теоремы, заметим, что имеется важное различие между сингулярностью при сферическом коллапсе и сингулярностью, которая может быть достигнута при несферическом коллапсе. В случае сферического коллапса вещество звезды сжимается до бесконечной плотности и нулевого объема в момент достижения сингулярности. В общем же случае теорема Пенроуза ничего не говорит о поведении вещества коллапсирующей звезды. Существует одна возможность, при которой вещество может избежать катастрофы. Эта возможность связана с усложнением топологических свойств пространства внутри сферы гравитационного радиуса. Вещество может, не сжимаясь до нулевого объема, начать расширяться, а потом снова появиться, подобно всплывшему расширяющемуся пузырьку, в какой-нибудь области нашей Вселенной или в некоторой другой Вселенной. Действительно, И. Д. Новиков (Институт прикладной математики, Москва) и Дж. Бардин (Вашингтонский университет) независимо друг от друга предложили математический пример гравитационного коллапса, в котором это как раз имеет место.

Выводы относительно гравитационного коллапса кажутся довольно странными, и поэтому некоторые исследователи стремятся заменить общую теорию относительности Эйнштейна такой теорией, которая предсказывала бы менее причудливые явления. Однако Пенроуз подчеркивает, что в большинстве других геометрических теорий гравитации можно ожидать явлений того же типа.

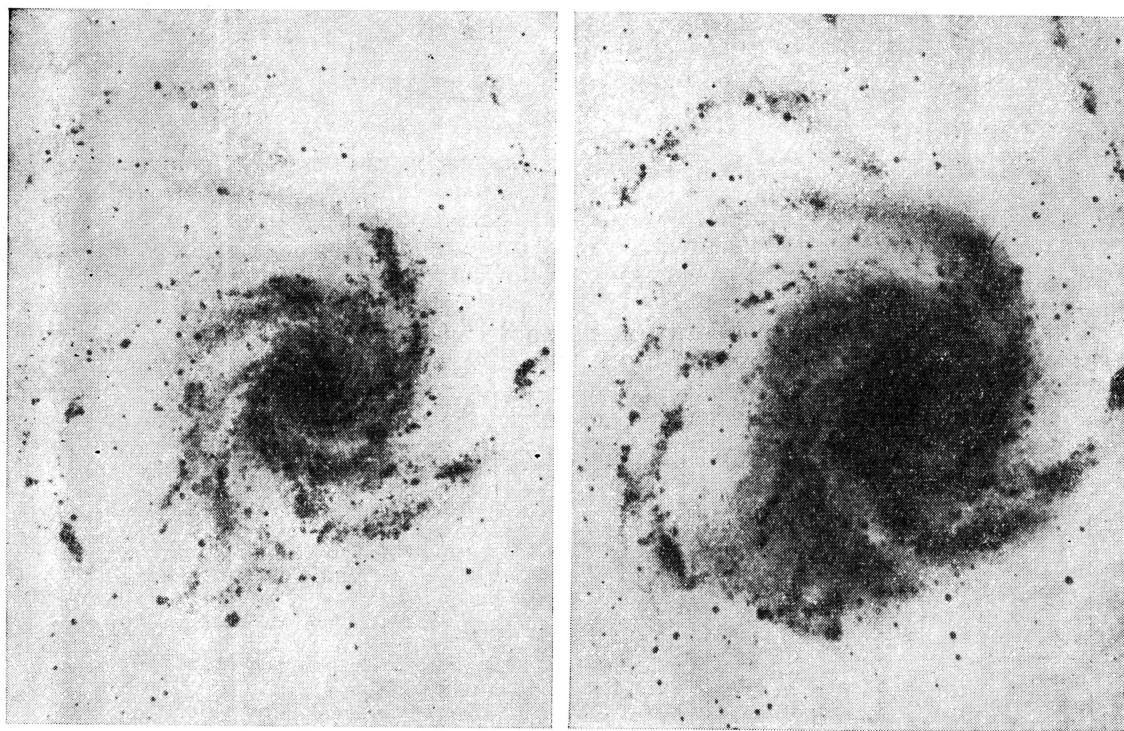
Я хочу еще раз подчеркнуть, что любой внешний наблюдатель никогда не увидит тех причудливых явлений, которые должны произойти под гравитационным радиусом. Таким образом, все, кому не нравятся эти предсказания теории, могут их игнорировать. С другой стороны, эволюция нашей Вселенной во многом напоминает эволюцию коллапсирующей звезды. Если наша Вселенная имеет конечный объем, нельзя ожидать, что она будет расширяться все время. В конце концов, ее расширение прекратится и начнется сжатие. Стадия сжатия будет очень похожа на гравитационный коллапс звезды. Поэтому люди, которых тревожит судьба нашей Вселенной, но которым нет дела до гравитационного сжатия звезды, должны, тем не менее, интересоваться конечной фантастической точкой гравитационного коллапса.

Фотография в астрономии

О. Д. ДОБУЧАЕВА

кандидат физико-математических наук

Астрономической фотографии более ста лет. И несмотря на возникновение новых методов изучения небесных светил, фотографический метод по-прежнему остается одним из основных. Астрономическая фотография непрерывно совершенствуется: появляются новые сорта астрономических фотоэмульсий, разрабатываются новые методы повышения их светочувствительности.



ФОТОГРАФИИ ГАЛАКТИКИ М 101 в созвездии Большой Медведицы (негативы), полученные в одинаковых условиях на старой (слева) и новой, более чувствительной эмульсии (087-01). На правом снимке видно значительно больше деталей, выявляются многочисленные сгущения слабых звезд (затемненные участки). Центральные области галактики на правом снимке передержаны

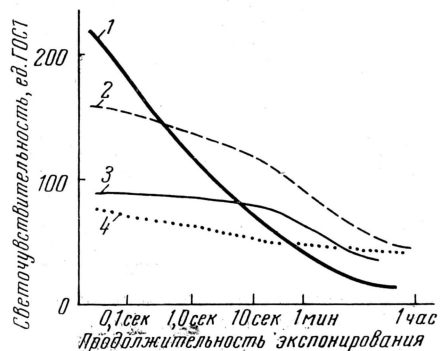
Способность фотографической эмульсии накапливать падающую на нее энергию, возможность запечатлеть на одном негативе десятки и даже сотни тысяч звезд, великолепная сохраняемость астрономических негативов — вот те свойства, которые делают фотографию незаменимым средством исследования Вселенной. Астрономические негативы содержат сведения о спектре, скорости движения, точном положении в пространстве, структуре небесного объекта. Каждый негатив — документ о состоянии небесного объекта в определенный момент времени. Негативы бережно хранятся на обсерваториях многие десятки лет, к ним зачастую обращаются снова и снова, чтобы исследовать особенности открытых позднее небесных светил. Старые негативы позволяют определить блеск новой звезды до вспышки, исследовать переменность блеска квазаров и других интересных объектов, определить перемещение той или иной звезды на небе.

В этой статье мы расскажем о характеристиках астрономических фотоматериалов, которые наиболее часто применяются в наземной астрономической фотографии, и о технических приемах использования фотографии.

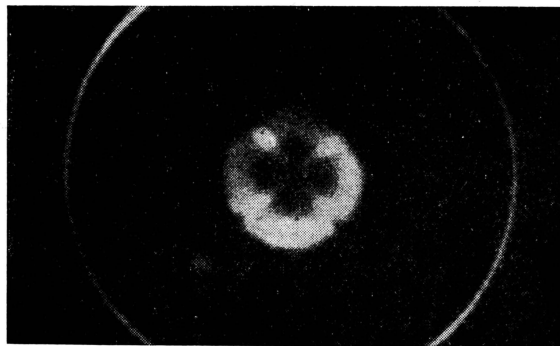
ОСНОВНОЕ СВОЙСТВО АСТРОНОМИЧЕСКИХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ

Большинство небесных объектов: звезды, туманности, галактики — чрезвычайно слабые источники света, поэтому фотографировать их очень трудно.

Необходимо, прежде всего, собрать как можно больше света от небесного светила. Для этого и строят гигантские телескопы. Самый крупный телескоп, строящийся в Советском Союзе, имеет диаметр зеркала 6 м.

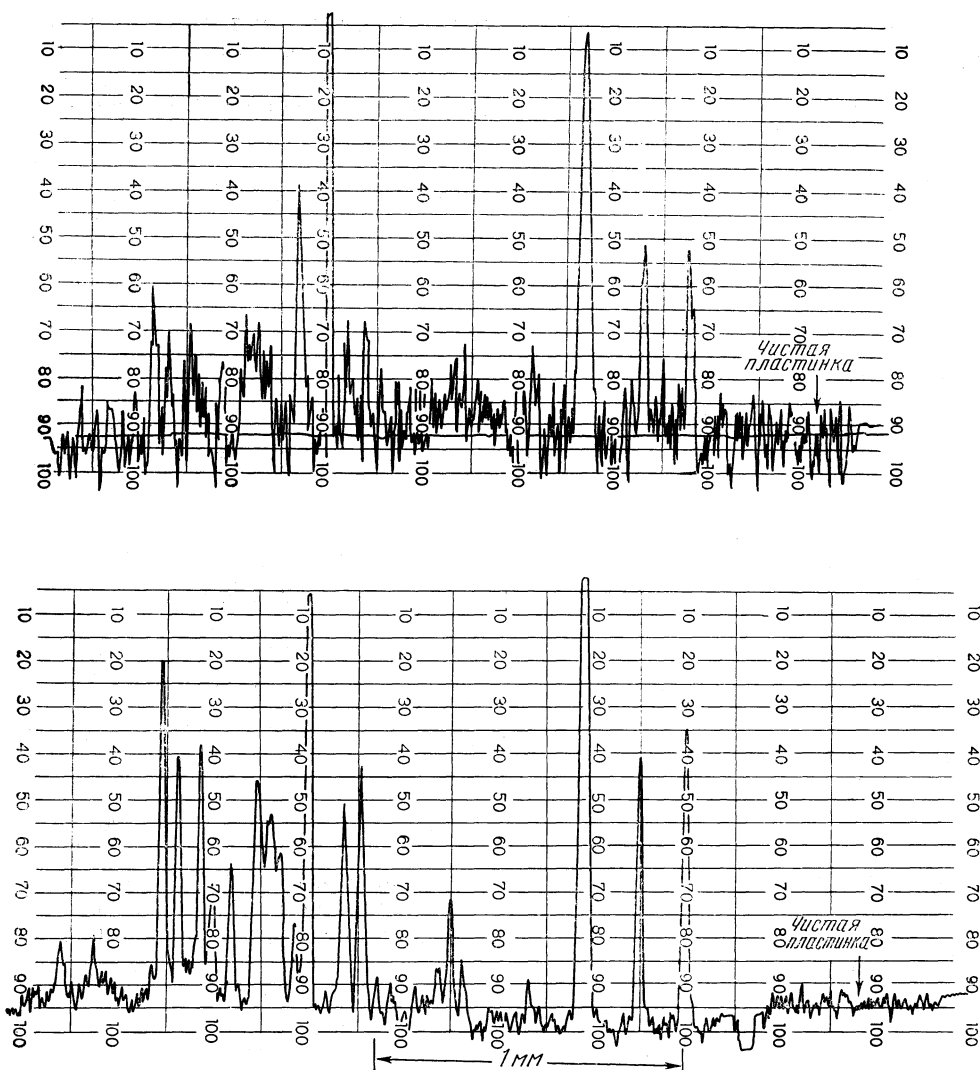


ИЗМЕНЕНИЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ фотографических эмульсий в зависимости от времени экспонирования. Светочувствительность эмульсии (1), не предназначенной для фотографирования небесных объектов, высока при кратковременных выдержках и быстро падает при переходе к длительным выдержкам. Светочувствительность астрономических фотоэмульсий (2, 3, 4) при переходе к длительным выдержкам снижается незначительно.



ИЗОБРАЖЕНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ТУМАННОСТИ NGC 6853 в созвездии Лисички. Фотография получена П. В. Щегловым на 125-сантиметровом телескопе (в Крыму) с помощью эталона Фабри — Перо и контактного преобразователя изображений. На снимке видны лишь те области туманности, которые имеют определенную скорость движения. Сложная аппаратура, применявшаяся при фотографировании, поглощает почти весь собранный от туманности свет, поэтому без усилителей изображения и без высокочувствительной фотоэмульсии (фотопленка А-650 казанского Химзавода имени В. В. Куйбышева) зарегистрировать излучение было бы невозможно.

(Напомним, что диаметр зрачка глаза человека равен всего лишь 6—7 мм!) Фотографировать слабые звезды приходится с длительными экспозициями, достигающими иногда нескольких десятков часов. И оказалось, что высокочувствительная фотоэмульсия, обычно применяемая фотолюбителями, не пригодна для фотографирования слабых звезд: с увеличением экспозиции снижается светочувствительность фотоэмульсий. Это явление назвали отклонением от закона взаимозаместимости.



МИКРОФОТОГРАММЫ одного и того же участка спектра, полученного на эмульсии с зерном средней величины (вверху) и на мелкозернистой эмульсии (внизу). На нижней микрофотограмме «шумы» (флуктуации, видимые на негативе в местах без изображения спектра — на «чистой» пластинке) заметно меньше, благодаря чему мелкие детали спектра видны лучше

Чтобы устранить такой недостаток «обычных» фотоэмульсий, пришлось изменить способ их изготовления. Были созданы особые астрономические фотоэмульсии, которые обладают невысокой чувствительностью при коротких выдержках ($1/100$, $1/1000$ сек), но становятся в несколько раз эффективнее «обычных» фотоматериалов при часовых экспозициях.

КАКИМИ ДОЛЖНЫ БЫТЬ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ФОТОМАТЕРИАЛЫ?

Астрономические фотоматериалы должны отличаться высоким качеством фотоэмульсии, стекла для пластинок или основы для пленки, однородностью полива эмульсии. В эмульсионном слое недопустимы даже ма-

лейшие дефекты. Действительно, из-за крошечного пятнышка или трещинки в эмульсии может оказаться напрасной многочасовая работа астронома и, самое досадное, может случиться так, что навсегда будет потеряна возможность сфотографировать какое-нибудь редкое явление природы.

Давно прошли те времена, когда фотограф перед съемкой сам готовил эмульсию и поливал ее на пластинку. Сейчас на обсерватории поступают высокочувствительные фотоматериалы, уже пригодные к употреблению. В настоящее время в СССР, Англии, США, ГДР изготавливаются десятки сортов астрономических фотоматериалов. Они различаются общей светочувствительностью, спектральной чувствительностью, контрастностью и зернистостью.

Как правило, астрономы, чтобы более четко выделить нужный участок спектра, а также ослабить излучение соседних участков спектра светила и излучение ночного неба, фотографируют с различными светофильтрами. Чаще всего в астрономии используются фильтры, пропускающие излучение водорода в линии H_α (6563 Å). Сочетание фотоэмульсий и светофильтров как бы расширяет ассортимент фотоматериалов.

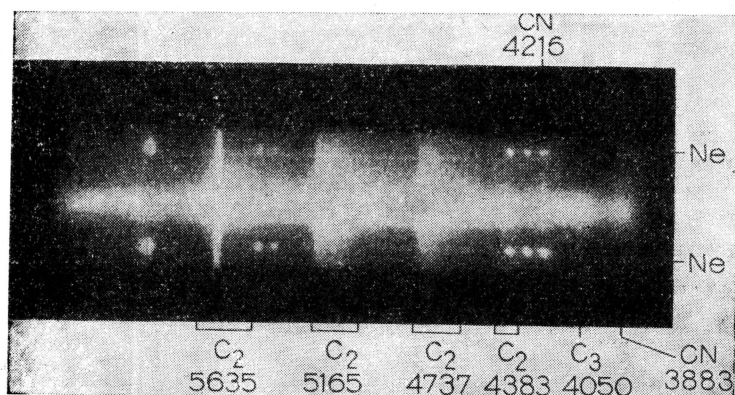
НОВЫЕ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ АСТРОНОМИИ

В наши дни наибольший интерес у астрономов вызывают галактики, ядра галактик, квазары и огромное число слабых переменных звезд. Большинство этих, далеких от Солнца объектов находится на пределе видимости и имеет ничтожно малые угловые раз-

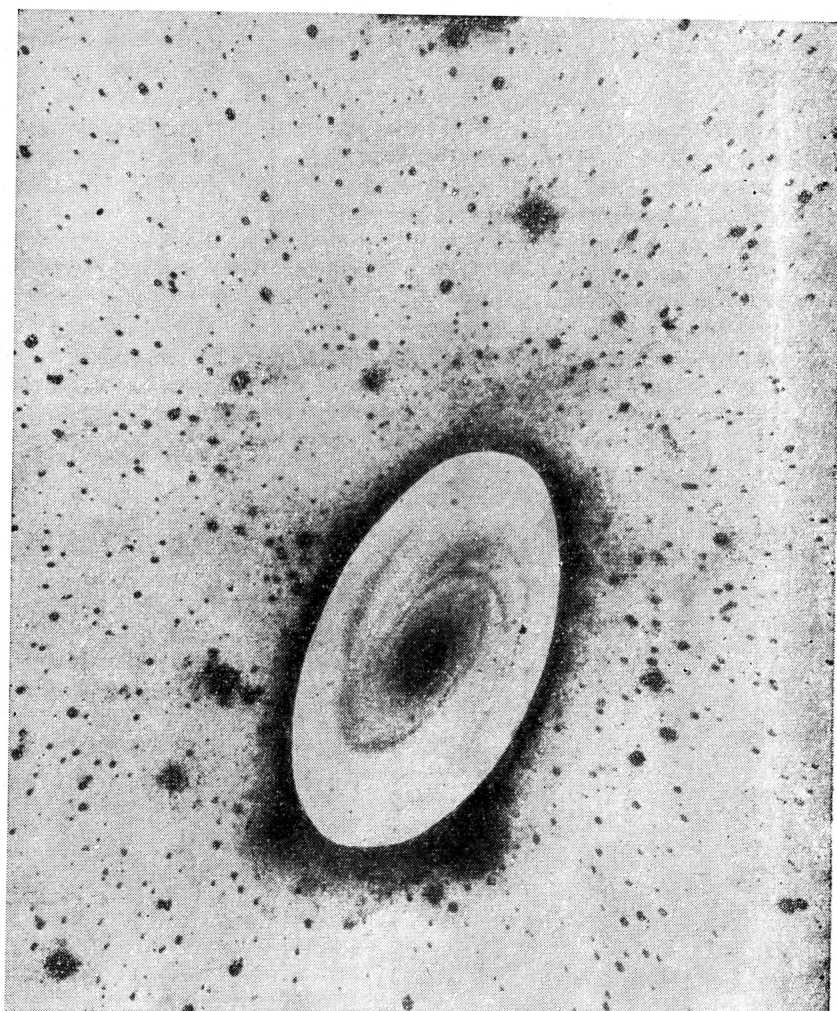
меры. Для изучения их требуются высокоинформативные фотоматериалы. Однако хорошо известно, что мелкозернистые эмульсии, позволяющие получить большую величину отношения «сигнала к шуму», хорошо передающие тонкие детали объектов, небольшие градации почернений, к сожалению, мало чувствительны, и наоборот, высокочувствительные эмульсии — крупнозернисты. Казалось бы, устранить это противоречие невозможно. И все же в последние годы удалось создать новые эмульсии, соединяющие достоинства обоих типов фотоматериалов.

Новые эмульсии для астрономии предложены Научно-исследовательским институтом Химфото (Казань). Как показали испытания, проведенные на обсерваториях, новые фотоматериалы в 2—3 раза чувствительнее применявшихся ранее пленок и пластинок, причем качество изображения на новых эмульсиях также выше. Мелкозернистые эмульсии высокой чувствительности разработаны и фирмой Истман Кодак (США); хотя эти эмульсии имеют меньшую чувствительность, чем старые сорта, после прогревания они оказываются очень эффективными. Именно на одной из этих эмульсий с помощью 5-метрового телескопа получены снимки звезд 25-й звездной величины, видимый блеск которых в 2×10^{20} раз слабее блеска Солнца.

Одновременно продолжается совершенствование крупнозернистых эмульсий. Новые экспериментальные эмульсии, высокая чувствительность которых достигается ценой увеличения зерна на 30%, использованы для фотографирования спектров квазаров и для определения величины красного смещения в них.



СПЕКТР КОМЕТЫ ХОНДА 1968 с (7^m). Узкая светлая полоса в центре снимка — непрерывный спектр ядра кометы, поперечные полосы образованы газами, светящимися в голове кометы. По обеим сторонам спектра кометы виден спектр сравнения неона (Ne). На снимке обозначены молекулярные полосы и длины волн в ангстремах. Снимок спектра получен В. Ф. Есиповым и О. Мамадовым с помощью 125-сантиметрового рефлектора (в Крыму) на новой фотопленке А-600 Научно-исследовательского института Химфото, предварительно подсвеченной наблюдателями



ФОТОГРАФИЯ ГАЛАКТИКИ М 81 (негатив), полученная на 48-дюймовом телескопе Шмидта Паломарской обсерватории. Три негатива были совмещены, и благодаря усилению контраста удалось выявить слабое свечение удаленных от центра областей туманности. При печати фотографии центральные области галактики М 81 были прикрыты овальной «маской», чтобы уменьшить почернение центральных областей и получить на одной фотографии центр галактики и спиральные ветви.

ПОДГОТОВКА ФОТОМАТЕРИАЛОВ К ФОТОГРАФИРОВАНИЮ НА ОБСЕРВАТОРИЯХ

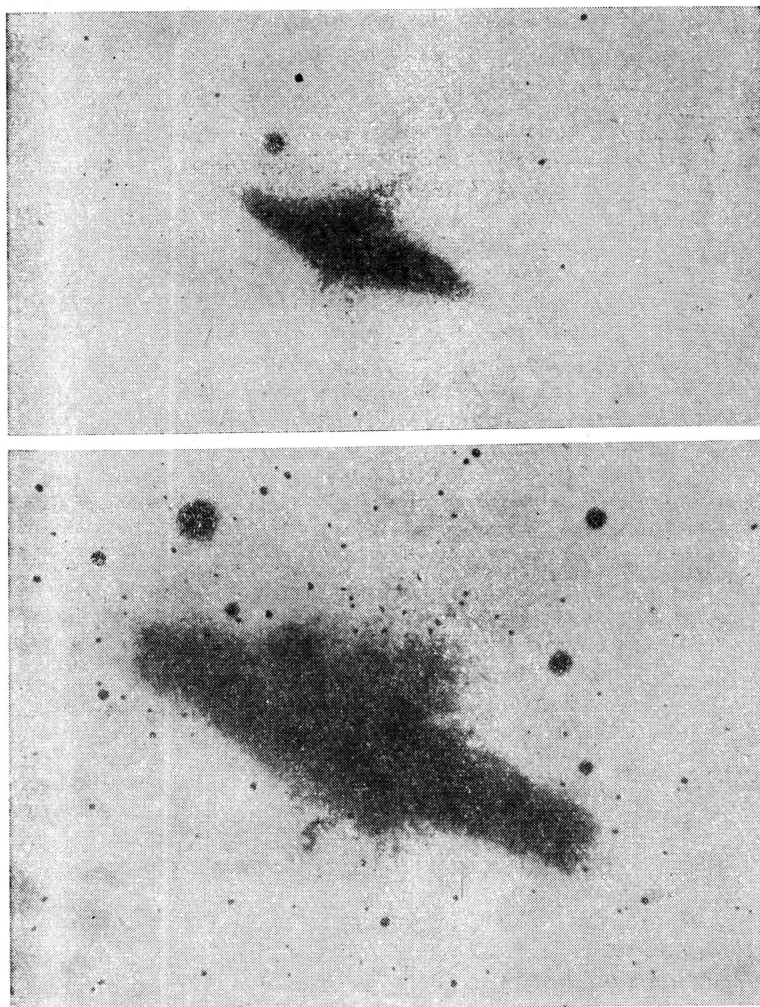
На лучших обсерваториях мира фотоматериалы подвергают тщательному анализу, скрупулезно проверяют, серьезно и продуманно до мельчайших деталей готовят к фо-

тографированию. Проверяют, нет ли дефектов на фотоэмульсии, не уменьшилась ли ее чувствительность, какова чувствительность эмульсии при работе с тем или иным светочувствительным фильтром.

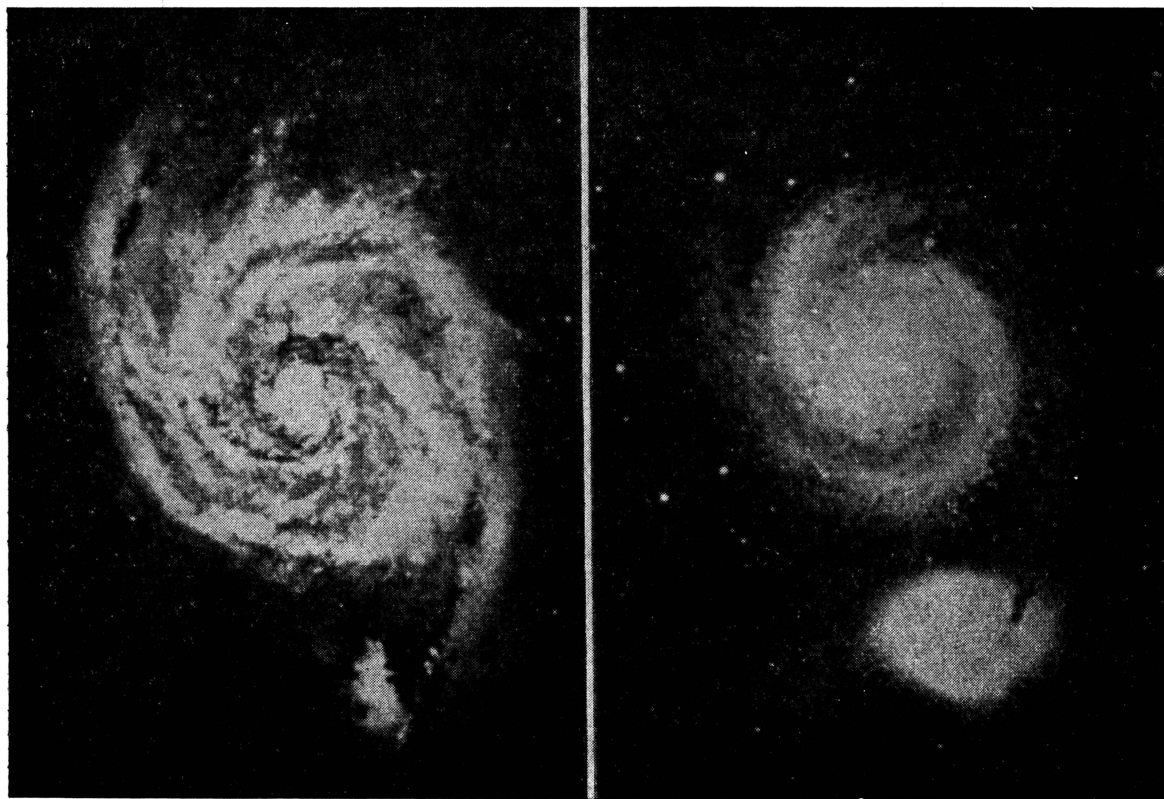
Требовательных наблюдателей не всегда удовлетворяет даже та, казалось бы, сверхвысокая чувствительность эмульсий, которая достигается современным производством. Как

правило, перед съемкой астрономы дополнительно повышают чувствительность фотоэмульсии путем кратковременной подсветки или купания в растворе аммиака (для инфракрасных эмульсий). Повышение чувствительности некоторых сортов фотоматериалов занимает несколько суток. Например, мелкозернистые малочувствительные астрономические фотоматериалы выдерживают трое суток при температуре $+50^{\circ}\text{C}$, и только после этого предварительно охлажденные пластинки экспонируют. Иногда астрономам удается повысить светочувствительность эмульсии в несколько раз.

Фотоматериалы, обладающие высокой чувствительностью, требуют аккуратного обращения. На чувствительность фотографической эмульсии влияют и температура, и влажность воздуха. Наиболее высокочувствительные сорта хранятся при температуре -18°C ; другие фотоматериалы можно хранить в обычном холодильнике или даже при комнатной температуре. Относительная влажность воздуха свыше 60% вызывает падение чувствительности, а снижение влажности до 20% — ломкость, хрупкость пленок. Рекомендуется хранить фотоматериалы в герметически закрытых металлических банках.



ФОТОГРАФИИ ГАЛАКТИКИ М 82 (негативы) в ядре которой полтора миллиона лет назад произошел взрыв. Снимки сделаны на 5-метровом телескопе Паломарской обсерватории. На верхнем изображении, полученном в линии водорода H_α , видна волокнистая структура центральной части галактики. Нижнее изображение (отпечаток с трех совмещенных негативов, полученных в синие-зеленых лучах) показывает тянущиеся от ядра галактики волокна — струи газа, выброшенные из ядра при взрыве. Длина волокон достигает 10 000 световых лет



ФОТОГРАФИИ ГАЛАКТИКИ М 51 в созвездии Гончих Псов, сделанные в синих (слева) и красных (справа) лучах. На левом снимке видны клочковатая структура спиральных ветвей галактики и ее спутника, яркие сгустки — скопления горячих звезд, темные области вблизи ядра галактики. На правом заметно меньше деталей: изображение галактики имеет меньшие размеры и более правильную форму, размеры спутника галактики значительно больше, чем на левом снимке, так как в спутнике, в основном, оказались «желтовато-зеленоватые» звезды

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЦВЕТНЫХ ПЛЕНОК

Цветные фотографии ярких астрономических объектов — Солнца, солнечной короны, Луны и других — получены уже давно. Первые цветные фотографии слабых звезд и туманностей появились лишь в 1959 г. В настоящее время имеются цветные фотографии полусотни слабых туманностей, галактик, скоплений звезд. Как же удалось их получить?

При фотографировании звезд и Луны на цветные пленки было замечено, что в холодные зимние ночи пленки гораздо чувствительнее, чем в теплое время года. Цветные (и черно-белые) фотоматериалы из «обыч-

ных» превращаются в астрономические, если их экспонируют при низких температурах.

Однако охлаждение фотоматериалов при телескопических наблюдениях сопряжено с большими техническими трудностями, поэтому черно-белые фотоматериалы не охлаждают (применяются другие способы повышения их чувствительности). Для цветных же пленок охлаждение — единственный способ повышения их чувствительности.

Охлаждение фотоматериала до температуры сухого льда (-79°C) было использовано при получении астрономических снимков на цветных пленках. Охлаждение позволило сократить экспозицию в несколько раз (без охлаждения требовались трех- или четырехчасовые выдержки), а также использо-

вать для фотографирования меньшие по размерам телескопы. Но самое главное — удалось добиться более точной передачи цвета небесных объектов.

Заметим, что в силу физиологических особенностей нашего зрения, человек без применения цветной фотографии, возможно, не смог бы увидеть в красках слабые, далекие небесные объекты.

ФОТОГРАФИЯ ПОМОГАЕТ ИЗУЧАТЬ НЕГАТИВЫ

Итак, астрономический негатив получен. Осталась позади большая работа химиков, фотографов, астрономов. Но использование фотографического метода на этом не заканчивается. Подвергая негативы дальнейшей фотографической обработке, можно получить новую, дополнительную информацию о небесных светилах.

В 1898 г. для выявления незаметных на негативе деталей русский судебный фотограф Е. Ф. Буринский предложил метод суммирования (наложения) изображений. Сущность метода заключается в том, что с оригинальных негативов делают копии на пленках, с которых, в свою очередь, получают копии негативов и их совмещают. В 1926 г. этот метод был использован М. П. Леонтовским при изучении далеких окрестностей туманности Андромеды.

В настоящее время метод суммирования негативов успешно применяется в астрономии при исследовании Луны и галактик. С помощью этого метода выявлены далекие внешние области галактики М 81 и исследовано чрезвычайно интересное явление — взрыв в центральной части галактики М 82.

Остроумный способ извлечения новой информации из негативов разработал известный астроном Ф. Цвикки. Он предложил фотографировать объекты, имеющие избыток излучения, например, в синих или желтых лучах дважды. Один снимок делают в желтых лучах (назовем его «желтый» негатив), а другой — в синих («синий» негатив). Изображения звезд с избытком излучения в желтых лучах на «желтом» негативе будут исчерпаны сильно, а на «синем» — слабо. С «синего» негатива получают позитив, где области, бывшие прозрачными на «синем» негативе, станут темными, и изображения желтоватых звезд будут почерплены больше, чем

изображения звезд, имеющих избыток излучения в других областях спектра. Позитив, сделанный с «синего» негатива, и «желтый» негатив совмещают. На «сложенном» негативе «желтые» звезды выделяются среди остальных гораздо четче, чем на оригинальном негативе, полученном в желтых лучах. Даже совсем слабые «желтые» звезды становятся заметными настолько, что их можно сосчитать и установить их расположение среди других звезд.

Метод Цвикки позволил обнаружить группировки красных звезд в спиральных ветвях галактики NGC 5194, области интенсивного излучения в линии ионизованного кислорода с длиной волны 3727 Å в туманности, расположенной около звезды η Кормы.

В последнее время астрономы используют оба метода одновременно. Сначала получают два-три негатива какого-либо объекта (например галактики) в одной спектральной области и два-три негатива — в другой. Совмещают негативы, полученные для одинаковых областей спектра, а потом уже применяют метод Цвикки. Так была изучена структура галактики NGC 5128.

Итак, мы лишь в общих чертах познакомили читателей с применением фотографического метода в современной астрономии.



С. Э. Хайкин (1901—1968)

Семен Эммануилович Хайкин

дельштам. Как никому другому, Семену Эммануиловичу были присущи все лучшие качества представителя этой школы: глубина и широта научных интересов, умение применять последние достижения науки к решению практических задач, стремление распространять научные знания. С. Э. Хайкин был не только крупным ученым, но и выдающимся инженером-изобретателем, блестящим педагогом и популяризатором. Научные труды Семена Эммануиловича представляют значительный вклад в общую теорию колебаний, акустику, науку о состоянии и структуре вещества, теорию трения и электрического контакта, в решение вопросов распространения радиоволн и, наконец, в радиоастрономию. Его научные достижения прочно вошли в науку, стали настолько общепринятыми и привычными, что об их авторе уже забывают, и в этом, может быть, заключается наивысшая похвала ученому.

С. Э. Хайкин был выдающимся педагогом-организатором. Именно в то время, когда он был деканом физического факультета МГУ, келейность, консерватизм и архаизм в преподавании физики уступили место массовости, современности, высокому теоретическому уровню, стремлению служить практическим интересам страны и народа. У С. Э. Хайкина было очень много учеников и последователей. Трудно найти такую республику, университет, научно-исследовательский институт, где бы не работали его непосредственные ученики и специалисты, выросшие на его классических учебниках или пользовавшиеся его консультацией. Наиболее плодотворной оказалась деятельность

30 июля 1968 г. советская наука понесла невозвратимую утрату — умер основоположник советской экспериментальной радиоастрономии профессор Семен Эммануилович Хайкин. С. Э. Хайкин принадлежал к первому поколению прославленной школы физиков Московского государственного университета, которой руководил академик Л. И. Ман-

С. Э. Хайкина в области радиоастрономии. Он создал многочисленную школу радиоастрономов, которая продолжает его жизнь в науке.

Увлечение Семена Эммануиловича радиоастрономией началось, как это часто бывает, в силу случайности — случайности трагической. Внезапно умер академик Н. Д. Папалекси, который должен был возглавить экспедицию в Бразилию для наблюдения полного солнечного затмения в 1947 г. К тому времени советские теоретики В. Л. Гинзбург и И. С. Шкловский разработали теорию, согласно которой солнечное радиоизлучение должно исходить не из фотосферы, а из атмосферы Солнца — хромосферы и короны. Проверить эти теоретические расчеты можно было только во время затмения Солнца. В самом деле, поскольку корона полностью не затмевается, то радиоизлучение Солнца в максимальной фазе затмения не должно упасть до нуля. Академик Н. Д. Папалекси, несмотря на преклонный возраст, самоотверженно готовил труднейшую экспедицию. После смерти Н. Д. Папалекси руководителем экспедиции был назначен С. Э. Хайкин. Со свойственной ему находчивостью и изобретательностью Семен Эммануилович, преодолев многочисленные экспериментальные трудности, с помощью далеко не совершенной аппаратуры успешно провел вместе с Б. М. Чихачевым регистрацию радиозатмения Солнца. Результаты этих измерений показали, что радиозатмение было не полным, а кольцевым, т. е. экспериментально подтвердилось, что радиоволны излучает корона. Так возникла советская экспериментальная радиоастрономия.

Техническая база, которой тогда располагали советские радиоастрономы, имела очень ограниченные возможности. Для обеспечения перспективных работ необходимо было прежде всего разработать новую сложную аппаратуру, создать большие радиотелескопы, подготовить квалифицированных специалистов с глубокими знаниями в области радио и астрофизики.

Огромной заслугой С. Э. Хайкина явилось то, что он сумел найти и предложить важную прикладную задачу, которая постепенно переросла в астрофизическую и обеспечила развитие радиоастрономических исследований в нашей стране. Это была важнейшая проблема исследования радиоастрономическими методами условий распространения радиоволн во всей толще земной атмо-

сферы. Попутно пришлось решить и некоторые чисто астрофизические задачи, например, исследовать характеристики небесных источников радиоизлучения, служивших внеземными радиостанциями для прикладных исследований. Эти работы, охватывавшие диапазон метровых, дециметровых и сантиметровых волн, увенчались блестящим успехом. Была построена аппаратура для радиоастрономических наблюдений и подготовлены два коллектива радиофизиков в Москве и Горьком. Следует заметить, что выбранный С. Э. Хайкиным путь развития советской радиоастрономии через прикладные задачи вызвал возражения и нападки отдельных астрофизиков, которые считали, что правильнее было сразу же решать чисто астрофизические задачи, хотя бы с теми скромными техническими средствами, которые имелись под руками. Бесперспективность предлагавшегося этими астрофизиками подхода сейчас очевидна. По мере решения основной прикладной задачи С. Э. Хайкин все больше внимания обращал на астрофизические проблемы.

Из достижений астрофизики этого начального периода развития советской радиоастрономии стоит отметить, в первую очередь, открытие сверхкороны Солнца (В. В. Виткевич). Исследование сверхкороны, продолжающееся и сейчас, позволяет выяснить важнейшие закономерности корпускулярного излучения Солнца, структуры и движения солнечного ветра и межпланетной плазмы. Тогда же начались исследования теплового радиоизлучения Луны (В. С. Троицкий). В 1955 г. было открыто поляризованное излучение солнечных пятен и вспышек в сантиметровом диапазоне волн (Н. Л. Кайдановский, Д. В. Корольков и Н. С. Соболева), а в 1957 г. — поляризованное излучение Крабовидной туманности (А. Д. Кузьмин, В. А. Удальцов).

К 1952 г. научные возможности существовавшей тогда радиоастрономической техники начали исчерпываться. Чтобы и дальше успешно развивать советскую радиоастрономию, нужно было выбрать наиболее перспективное направление и, прежде всего, определить оптимальный диапазон волн. В это время интересы большинства радиоастрономов были сосредоточены главным образом на радиоволнах метрового диапазона. В этом диапазоне можно было сравнительно скромными техническими средствами полу-

чить значительные научные результаты в исследовании радиоизлучения Солнца, межпланетной плазмы, а также галактической среды и некоторых туманностей.

Однако наблюдению в метровом диапазоне многих далеких и слабых источников препятствует высокий уровень естественных помех, связанных с земной атмосферой, межпланетным и межзвездным газом. К тому же, в метровом диапазоне не удается детально исследовать радиоизображение источников излучения и даже определить их точные координаты, чтобы отождествить их с оптическими объектами. Все это сильно ограничивает возможности исследования в метровом диапазоне. Именно поэтому С. Э. Хайкин и направил усилия значительной части советских радиоастрономов на освоение самой коротковолновой части радиодиапазона — диапазона сантиметровых волн. Здесь минимальны естественные помехи и, следовательно, можно было ожидать открытия наибольшего числа новых слабых и далеких источников радиоизлучения. Кроме того, радиоизображения источников в сантиметровом диапазоне волн обещали быть даже более детальными, чем в оптическом, так как на сантиметровых волнах слабее рассеяние излучения неоднородностями атмосферы.

Освоению диапазона сантиметровых волн препятствовали огромные технические трудности. В начале 50-х годов чувствительность приемников этого диапазона была низкой и к тому же не было ясно, что надо сделать для ее существенного повышения. Размеры и точность отражающей поверхности радиотелескопов не удовлетворяли радиоастрономов. Эти трудности казались непреодолимыми, но С. Э. Хайкин понимал, что они носят только временный характер.

Первый уникальный по точности и размерам радиотелескоп, предназначенный для исследований в сантиметровом диапазоне волн, был создан под руководством А. Е. Саломиновича и П. Д. Калачева. Диаметр радиотелескопа составлял 22 м, для минимальной длины волны 0,8 см. С этим радиотелескопом было сделано много научных открытий. Однако его разрешающая способность $2' \times 2'$, почти предельная для радиотелескопов традиционной конструкции со сплошным параболическим зеркалом, еще очень далека от разрешающей силы оптиче-

ских телескопов. Построить большие и точные антенны с разрешающей силой, близкой к достигнутой в оптике, удалось, лишь полностью отказавшись от традиционной конструкции радиотелескопа.

Отражающая поверхность радиотелескопа, предложенного и разработанного С. Э. Хайкиным и Н. Л. Кайдановским, расчленялась на небольшие и точные плоские элементы, которые устанавливались у самой земли с помощью механизмов и измерительных устройств таким образом, чтобы образовывать нужный профиль поверхности и собрать падающую волну в фокус. При наблюдениях в разных направлениях профиль отражающей поверхности нужно изменять, поэтому радиотелескоп был назван антенной переменного профиля.

Радиотелескоп такой конструкции с горизонтальным размером 135 м, построенный в Пулковской обсерватории в 1956 г., до сего времени сохраняет мировое первенство по разрешающей силе среди радиотелескопов сантиметрового диапазона. Пулковский радиотелескоп послужил прообразом сооружаемого ныне радиотелескопа, разрешающая сила которого будет равна разрешающей силе крупнейших оптических телескопов. Была преодолена и низкая чувствительность приемников сантиметровых волн. Квантовые парамагнитные и параметрические усилители, с успехом применяющиеся в радиоастрономии, повысили чувствительность радиотелескопов в 1000 раз, и теперь радиотелескоп большой площади может обнаружить поток излучения в несколько квантов на квадратный метр в секунду. Таким образом, научное предвидение С. Э. Хайкина блестяще подтвердилось.

С пулковским радиотелескопом, разрешающая сила которого на волне 0,8 см доведена в настоящее время до $15''$, под непосредственным руководством С. Э. Хайкина были проведены многочисленные уникальные исследования во всех областях радиоастрономии. Так, были точно измерены координаты многих галактических и внегалактических источников, исследована их структура и поляризация (Ю. Н. Парийский, Н. С. Соболева и др.); детально изучены многие радиопятна, вспышки и исследовано распределение яркости спокойного Солнца (Г. Б. Гельфрейх, В. И. Ихсанова и др.); исследована тонкая структура некоторых областей Галактики в линиях 21 и 18 см, соответствующих

излучению нейтрального водорода и гидроксила (Н. Ф. Рыжков, Т. М. Егорова, Н. В. Быстрова и др.); началось детальное изучение структуры планет. Были оценены температура, состав и давление атмосферы планеты Венера; исследована структура поясов радиации Юпитера (Ю. Н. Парийский и др.); обнаружена и исследована поляризация радиоизлучения Луны, позволившая измерить диэлектрическую проницаемость материала поверхности и оценить «шероховатость» ее покрова (Н. С. Соболева).

Идеи С. Э. Хайкина, как идеи всякого смелого новатора, далеко не всегда и не сра-

зу встречали понимание и всеобщее признание. Но С. Э. Хайкин никогда не отступал в принципиальных спорах и с огромной энергией, трудом и настойчивостью добивался реализации и воплощения в жизнь своих предложений.

Семен Эммануилович Хайкин как ученый, организатор науки, педагог и популяризатор будет всегда служить незабываемым примером для молодого поколения советских ученых.

Н. Л. КАЙДАНОВСКИЙ

доктор физико-математических наук

Вальтер Бааде

В марте прошлого года астрономическая общественность мира отметила 75-летие со дня рождения выдающегося астронома нашего века — Вальтера Бааде (1893—1960). Девять лет, протекавшие после его кончины, — вполне достаточный срок, чтобы всесторонне оценить роль этого великолепного исследователя и наблюдателя в формировании современных представлений о строении и эволюции звезд и звездных систем. Результаты фотографических и фотометрических исследований звезд и галактик, полученные Бааде на крупнейших телескопах, легли в основу того поворота, который произошел в звездной астрономии в 40—60-х годах XX в. И признавая его большие заслуги, астрономы часто называют это 20-летие в истории звездных и внегалактических исследований «переломом Бааде».

Вильгельм Генрих Вальтер Бааде родился 24 марта 1893 г. в Шреттингхаузене (Вестфалия, Германия) в семье учителя. Склонность к астрономии, как вспоминал сам Бааде, зародилась у него очень рано. В 1913 г. способный и энергичный юноша поступает в Геттингенский университет, где проходит хорошую школу физики, математики и астрономии. С 1919 г. молодой доктор Бааде — сотрудник Гамбургской обсерватории в Бергедорфе. Двенадцать лет работы на лучшем в Германии телескопе сделали



Вальтер Бааде (1893—1960)

из него прекрасного наблюдателя. Диапазон деятельности молодого Бааде был необычайно широк: от наблюдений комет, малых планет, фотометрических и спектральных наблюдений переменных звезд, скоплений и туманностей до участия в экспедиции на Филиппины по наблюдению солнечного затмения (к сожалению, экспедицию ожидал финал, подобный многим другим, — плохая погода в день затмения).

В 1931 г. его приглашают на работу в обсерваторию Маунт Вилсон (США), оснащенную крупнейшим в мире 100-дюймовым рефлектором. С этого времени интересы Бааде полностью сконцентрировались на звездных и внегалактических исследованиях*. В предвоенные годы главной темой его исследований были сверхновые звезды. (Начавшаяся в 1939 г. мировая война не помешала его работе: как немецкий подданный он был интернирован, но чисто формально, и продолжал работать на обсерватории). Бааде убедительно показал, что известные яркие вспышки Новой Тихо и Новой Кеплера были в действительности вспышками близких сверхновых в нашей Галактике. Он обстоятельно исследовал Крабовидную туманность, образовавшуюся в результате вспышки Сверхновой 1054 года, и обнаружил волокнистую и аморфную структуру туманности, а позже (в 1956 г.) — и высокую поляризацию ее излучения.

К сверхновым Бааде возвращался неоднократно и впоследствии, но выдающихся успехов он достиг, работая на 100-дюймовом, а затем на 200-дюймовом рефлекторах. Это были фотографические и фотометрические исследования некоторых звездных систем, входящих в Местную группу галактик. Еще в 1920 г. К. Лундмарк и позже Э. Хаббл обнаружили, что спиральные рукава в близких туманностях Треугольника и Андромеды распадаются на звезды. (Это открытие положило начало новой сфере исследований, называемой теперь внегалактической астрономией.) Природа центральных областей спиральных туманностей, а также эллиптических туманностей еще долго оставалась неизвестной, пока в 1943 г. Бааде получил первые фотографии этих объектов на фотопластинках, чувствительных к красным лучам. Фотографирование производилось со специальными

* Что, впрочем, не помешало ему в 1949 г. мимоходом открыть столь популярный в 1968 г. астероид Икар.

фильтрами, пропускавшими излучение лишь красной области спектра. Этот метод Бааде «выжимания» предельно слабых звезд теперь широко применяется во внегалактической астрономии.

Центральная часть близкой к нам спиральной туманности Андромеды и ее эллиптические спутники на снимках, полученных Бааде, распались на множество звезд, аналогичных по светимости и цвету красным гигантам в нашей Галактике. Спиральные галактики, таким образом, оказались состоящими из «звездного населения» двух типов. Горячие звезды спектральных классов О и В, звезды главной последовательности, цефеиды, межзвездная пыль и газ — короче, объекты, находящиеся в области спиральной структуры галактик, составляют население I типа. Эти объекты располагаются близко к галактической плоскости своей галактики и участвуют в ее регулярном вращении. Красные же гиганты, шаровые скопления, некоторые постоянные и переменные звезды образуют почти сферические сгущения вокруг центра галактики (центральное сгущение) и «гало», охватывающее всю галактику, — это население II типа. Оно характеризуется большими хаотическими скоростями движения и не участвует в галактическом вращении.

То, что звезды с различными физическими характеристиками имеют разный характер движения и разное распределение в Галактике, было замечено еще ранее астрономами, изучавшими нашу звездную систему. Одновременно с Бааде к мысли о том, что Галактика, очевидно, складывается из компонент, имеющих различные распределения, пришел советский астроном Б. В. Кукаркин. Он подразделил все галактические объекты на плоскую (I тип, по Бааде), сферическую (II тип) и промежуточную составляющие. Таким образом, в 40-х годах астрономы с разных сторон подходили к выводу о многообразии типов звездного населения, отражавшему, вероятно, эволюцию звездной системы. Но именно Бааде довелось обобщить этот фундаментальный для звездной эволюции факт на примере нашей и других звездных систем.

В 1950 г. вступил в строй 200-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Паломар. На этом инструменте Бааде фотографировал красные гиганты в туманности Андромеды уже на обычных пластинках с получасовы-

ми экспозициями. Ему удалось даже точно измерить их звездные величины. И оказалось, что модуль расстояния (т. е. разность между видимой и абсолютной звездными величинами) до туманности Андромеды, определенный по абсолютным величинам ярчайших красных гигантов, на 1,5 звездной величины меньше, чем модуль расстояния до этой туманности, полученный ранее по абсолютным и видимым звездным величинам цефеид. В 1952 г. на съезде Международного астрономического союза в Риме Бааде сообщил о замеченном расхождении и объяснил его недооценкой абсолютных величин цефеид. Его выступление поддержал У. Теккерей (ЮАС), который, исследуя короткопериодические цефеиды в Малом Магеллановом Облаке, обнаружил такое же расхождение. На страницах астрономических журналов развернулась широкая дискуссия о необходимости ревизии абсолютных величин цефеид. На состоявшемся в 1958 г. в Москве съезде Международного астрономического союза этому вопросу была посвящена специальная объединенная дискуссия. Она показала, что спор решен в пользу Бааде.

Изменение абсолютных величин цефеид привело к удвоению внегалактических расстояний. Вместе с исправлением других ошибок старой системы внегалактических расстояний, последние увеличены по сравнению с данными 1930—1940 гг. более чем в 5 раз. И опять, хотя о недооценке абсолютных величин цефеид говорили уже с 1944 г. (в СССР — О. А. Мельников, во Франции — А. Минер), ревизия абсолютных величин цефеид и шкалы внегалактических расстояний была проведена только после выступления Бааде, и в истории астрономии это событие справедливо связывается с его именем.

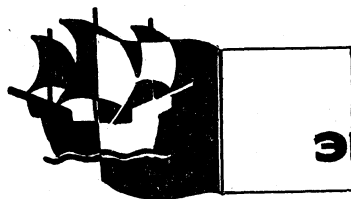
В. Бааде и Р. Минковскому (США) принадлежит еще один фундаментальный результат, полученный на этот раз в области, граничной между оптической астрономией и радиоастрономией. В 1953 г. они отождествили серию источников космического радиоизлучения с оптическими объектами: Кассиопея А и Корма А с пекулярными туманностями (остатками сверхновых), а Дева А, Лебедь А и Центавр А с пекулярными галактиками. До них был отождествлен лишь близкий к Солнцу радиосточник Телец А с Крабовидной туманностью. Сейчас выполнены уже десятки и сотни отождествлений. Таким образом, работа Бааде и Минковского

находится у истоков современного этапа галактической и внегалактической радиоастрономии.

По выражению американского астронома Ц. Пэйн-Гапошкиной, Бааде «не любил публиковаться». Действительно, он, например, ограничился устным выступлением по ревизии абсолютных величин цефеид на съезде в Риме, и его имя не встретишь среди авторов той «лавины» статей, которую сам же Бааде вызвал. Неожданная смерть помешала ему закончить обработку наблюдательных материалов и написать монографию. В 1958 г. Бааде в Гарвардской обсерватории прочел цикл лекций, которые были записаны на пленку. После его смерти лекции были подготовлены к печати Пэйн-Гапошкиной, а затем изданы. Эта единственная книга Бааде переведена и на русский язык*. Книга, по сути дела, тоже не «публикация», не шлифованный литературный труд. Со страниц ее дышит живая речь, и, возможно, эта книга поможет читателям представить себе живого Бааде — страстного наблюдателя и ученого, труд и имя которого навсегда связаны с успехами астрономии XX века.

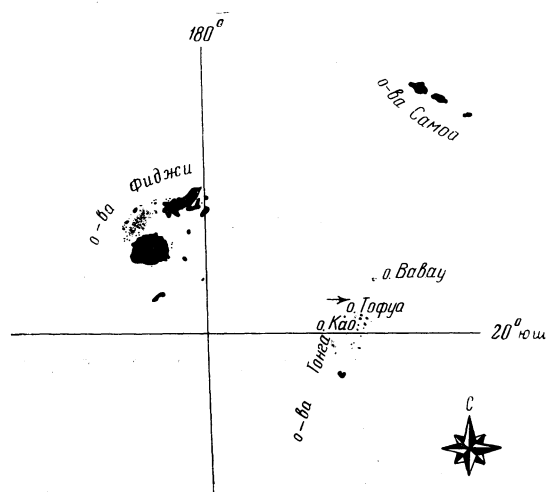
Ю. П. ПСКОВСКИЙ
кандидат физико-математических наук

* В. Бааде. Эволюция звезд и галактик. М., «Мир», 1966 г.



ЭКСПЕДИЦИИ

РОЖДЕНИЕ И ГИБЕЛЬ ОСТРОВА МЕТИС



Совершая 43-й рейс, посвященный изучению геологии Тихого океана, исследовательское судно «Витязь» посетило в феврале 1968 г. архипелаг Тонга, где незадолго до этого произошло извержение подводного вулкана Метис. Ученые на борту «Витязя» первыми провели геологические наблюдения в непосредственной близости от очага извержения. Получены новые данные об одном из интересных и, можно сказать, «драматических» эпизодов геологической истории островных дуг Тихого океана.

Это произошло в южной части Тихого океана, там, где цепочка островов Тонга и Кермадек едва заметным пунктиром на картах протягивается от Новой Зеландии до островов Самоа. В декабре 1967 г. новозеланд-

ское торговое судно «Тофуа» с грузом копры и пассажирами на борту следовало от острова Вавау (в северной части архипелага Тонга) на юг, в Нукуалофу — столицу королевства Тонга. В ночь с 11 на 12 декабря стоящий на вахте третий штурман «Тофуа» М. Грей заметил на горизонте огромные клубы дыма и красное зарево. В бинокль он разглядел языки пламени. Приняв увиденное за объятый пламенем пожара корабль, штурман Грей немедленно известил капитана. Капитан П. Беннетт изменил курс и направил корабль к предполагаемому месту бедствия, которое находилось примерно в 17 милях.

Когда «Тофуа» приблизилось к очагу «пожара» на расстоянии 12,5 мили, моряки и собравшиеся на палубе пассажиры обнаружили вместо горящего корабля извергающийся-

ся вулкан. М. Грей рассказывал позже корреспондентам газет: «Мы видели, как глыбы лавы выбрасываются в небо. Это было величественное зрелище. Пламя и фонтаны лавы поднимались на высоту 1000 футов. Ночь была ясная, и мы отлично видели огромные тучи белого дыма высотой около 3000 футов».

Радиолокатор «Тофуа» дал отчетливое отражение от жесткой массы на месте извержения, что позволило сделать заключение о рождении нового острова. Место извержения находилось примерно на полпути от острова Лейт к другому острову — вулкану архипелага Тонга — Као, там, где на морских картах была обозначена мель с минимальной глубиной 3,7 м под названием банка Метис.

Весть об извержении вулкана и рождении нового острова облетела весь мир. Пресса публиковала одно за другим новые сообщения очевидцев. 12 декабря на расстоянии 15 миль капитан корабля «Хифофуа» наблюдал «сильное извержение, интенсивность которого возрастает; выбросы с интервалами около 90 секунд». 14 декабря к банке Метис полетел на специальном самолете король Тонга Тауфа'ахау Тупоу IV вместе с английским консулом в Нукуалофе и другими официальными лицами. Пилот самолета Гордон Шэрер сообщил: «Взрывы выбрасывают обломки пород и облака пара на высоту до 400—500 футов...»

Находившийся на борту редактор газеты «Тонга Кроникл» Дж. Ричелман, впоследствии

один из самых активных наблюдателей извержения, сделал прекрасные фотографии, где отчетливо видны облака пара (именно пара, а не дыма, как часто ошибочно предполагают); выбросы вулканического пепла и крупных черных глыб шлака или пемзы, обломки которых плавают на поверхности воды; мощные всплески от падающих в воду глыб; овал мутной воды вокруг вулкана и маленький скалистый остров — беспорядочное нагромождение еще парящихся пемзовых глыб. С самолета удалось наблюдать, как остров нарастал при каждом новом выбросе пемзы и шлака.

Очень красочно описал наблюдавшееся извержение с воздуха лейтенант новозеландских военно-воздушных сил П. К. Симпсон: «Мощные взрывы продолжают изрыгать камни и пар. Пар выбрасывается на высоту 300 футов, а за его облаками видны струи красного пламени. Крупные глыбы падают в воду с огромными всплесками. Остров почти полностью скрыт за облаками пара, определить его размеры очень трудно. Но это твердые скалы, которые явно возвышаются над поверхностью океана, по крайней мере, на высоту 50 футов. Зрелище великолепное!».

По описаниям многих очевидцев можно судить, что извержение продолжалось с переменной интенсивностью до начала или до середины января. Во всяком случае 1 января 1968 г. еще наблюдались выбросы паров и вулканического пепла. Пилот П. Тупоуниа сообщил: «Выбрасываемый материал темный.



НУКУАЛОФА — СТОЛИЦА ТОНГА. Дворец короля Тауфа'ахау Тупоу IV, одного из первых очевидцев рождения нового острова

Фото автора



*ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ОСТРОВ КАО
в западной гряде архипелага
Тонга — ближайший сосед вул-
кана Метис*

Фото автора

Ни раскаленных обломков, ни свечения не видно. На поверхности океана — масса плавающей пемзы, которая относится ветром. Видны скалы, выступающие над морем».

В конце января на скалистом острове были заметны лишь слабые выбросы газов и пара. 2 февраля Дж. Ритчелман телеграфировал в американский Центр кратковживущих природных явлений при Смитсоновском институте, где занимались сбором сведений о вулкане Метис: «Вулканическая деятельность успокоилась. Извержение прекратилось около трех недель назад. Еще выделяется немного дыма. Остров имеет теперь около полумили в поперечнике. Можно сделать попытку высадиться на лодке».

Первое действие геологической драмы, главным действующим лицом в котором был вулкан, завершилось. Произошло извержение одного из многочисленных вулканов «огненного кольца» Тихого океана — пояса самого активного на Земле вулканизма. (По характеру извержение было типичным для островных дуг западной части Тихого океана, к которым относится и дуга Тонга — Кермадек.)

Как и во всех «двойных дугах», представляющих собой громадные подводные горные сооружения с двумя параллельными гребнями, современная вулканическая деятельность в архипелаге Тонга сосредоточена в западной, внутренней (обращенной к матерiku) гряде островов. Внешняя (обращенная к

океану) гряда — невулканическая. Она состоит, главным образом, из коралловых островов, образовавшихся на вершинах потухших вулканов или на древнем складчатом цоколе. Точно так же, например в Курильской островной дуге, все ныне действующие и действовавшие в недалеком прошлом вулканы расположены в пределах Большой Курильской гряды, а внешняя гряда двойной дуги (Малые Курилы) — невулканическая.

Вулкан Метис расположен именно во внутренней вулканической гряде островов Тонга, в одном ряду с островами-вулканами Лейт, Као, Тофуа и др. Он возвышается над массивным цоколем подводного горного сооружения примерно на 1100 м, имеет коническую форму, крутые подводные склоны. Вершина вулкана до извержения 1967—1968 гг. была мелководной банкой. Прежде, однако, на этом месте находился остров. Он описан несколькими исследователями и мореплавателями XIX в. и существовал, по-видимому, до 1894 г., после чего исчез под водой. Рождение этого временного острова на месте банки было связано с извержением вулкана Метис (1886 г.). По-видимому, рождение и исчезновение острова повторялось неоднократно и ранее, например, при извержении 1851 г.

Остров-банка Метис — не единственный «исчезающий» остров в вулканической гряде архипелага Тонга. Неоднократно рождался при извержениях, а потом скрывался под уровнем моря остров Фальтон. Так, в резуль-

тате извержения 1927—1928 гг. он вырос до 4 км в поперечнике и имел объем до 3 км³, а затем был полностью размыт волнами и вновь превратился в банку.

Недолговечен был и остров, образовавшийся недавно на банке Метис.

...«Витязь» прибыл в район банки Метис утром 13 февраля. Не имея подробных сведений о ходе извержения, мы были готовы встретиться с активно действующим вулканом. Под руководством начальника экспедиции члена-корреспондента АН СССР П. Л. Безрукова заранее был разработан оперативный план сбора научной информации. Предусматривались визуальные наблюдения за деятельностью вулкана и фотографирование его, сборы проб морской воды и взвешенных в воде частиц, а также вулканического пепла, выпадающего из воздуха, измерение глубин, фотографирование дна, сбор донных осадков.

На восходе Солнца «Витязь» подошел к банке. Мощные всплески белой пены над ней можно было издали принять за деятельность вулкана. Но приблизившись, мы увидели лишь буруны. Пологая океанская зыбь вздымалась и разбивалась в фонтанах белой пены над песчаной мелью. И только когда очередная волна откатывалась, можно было разглядеть несколько невысоких скал, торчащих выше уровня моря. Вот и все, что осталось от острова! Кстати, и эти скалы после нашего посещения существовали недолго. 19 февраля американский ученый Ч. Лундквист не нашел уже на банке Метис никаких надводных скал. Лишь ныряя с лодки над мелью, он достал со дна образцы пемзы — остатки существовавшего недавно острова.

Капитан «Витязя» М. В. Соболевский подвел корабль совсем близко к бурунам, предоставляя геологам возможность собирать пробы донных осадков с поверхности банки вблизи очага недавнего извержения. Подходили сначала с востока, затем с запада. Были моменты, когда до зловеющих бурунов оставалось всего каких-то 200 м, а с полубака можно было видеть заросли кораллов на дне. Для такого большого корабля, как «Витязь», подобные маневры далеко не безопасны, но рисковать было необходимо: ведь не часто удастся ученым изучать подводные вулканические явления в непосредственной близости и сразу же после извержения.

Сборы проб производились дночерпателями одновременно с двух лебедек. С нетерпе-

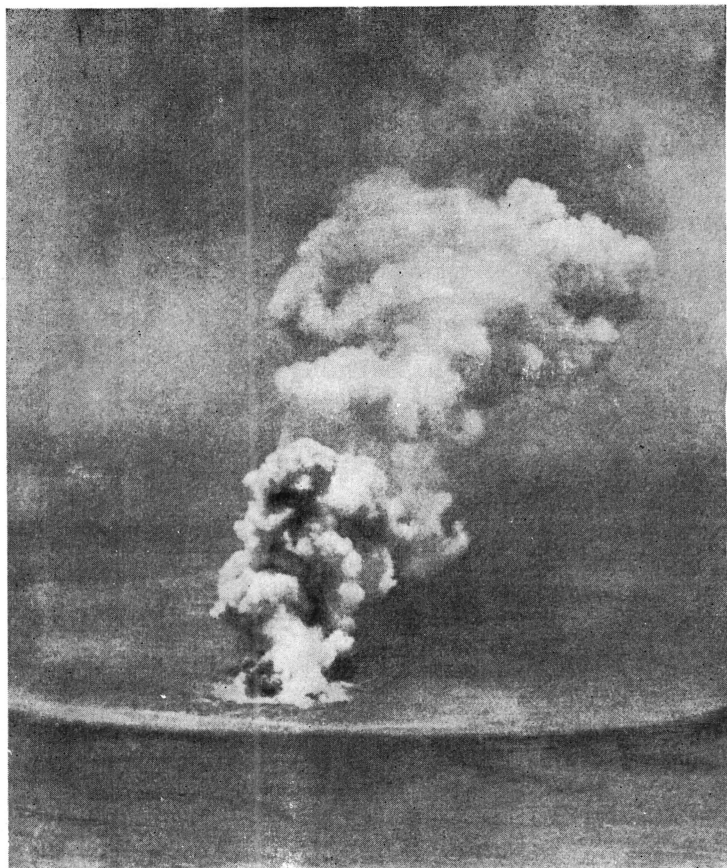
нием ждали проб вулканогенного материала. Каково же было наше удивление, когда первые дночерпатели принесли с поверхности банки обломки пемзы, обильно обросшие живой донной фауной и флорой! На пористых обломках росли прекрасные экземпляры мшанок, губок, кораллов, гидроидов; их покрывали толстые корки багряных водорослей. (См. нижний рисунок на первой странице обложки.) Было очевидно, что эта пемза не имеет отношения к последнему извержению, а лежит на дне уже давно.

В пробах вулканического песка, поднятых с вершины вулкана, также обнаружили живую фауну. Оказалось, что песок перемыт волнами. Об этом свидетельствовала высокая концентрация относительно тяжелых минералов — пироксенов, явно не соответствующая их первоначальному содержанию в вулканическом пепле. А ведь для перемива и сортировки требуется время!

Бесспорные следы извержения были обнаружены в одной из проб, добытой дночерпателем. Прибор принес со дна крупную чашеобразную колонию мшанок, в «чаше» лежал тонким слоем мелкозернистый песок, состоящий, в основном, из осколков вулканического стекла и других вулканогенных частиц. По-видимому, это был вулканический пепел, осевший на поверхность колонии. Впрочем, он мог быть и «вторичным» продуктом размыва острова, образовавшимся при дроблении пемзовых глыб, выброшенных вулканом.

Воздействие вулканического извержения на дно и его обитателей оказалось неожиданно скромным. Действительно, в грохоте взрывов, в красных отсветах раскаленных камней родился новый остров. И не такой уж маленький (около полумили в поперечнике). Почти месяц море кипело и парилось, как гигантский котел. Затем волны размыли остров. А совсем рядом, по соседству с грозной «огнедышащей горой» продолжала расцветать пышная тропическая донная фауна. Как это могло случиться?

Озадачил и другой вопрос: где весь обломочный материал, выброшенный вулканом и образовавшийся при размыве острова? Если на поверхности банки лежит обросшая фауной древняя пемза, то, значит, свежий пирокластический материал последнего извержения — пепел и пемза — там не осел. Почему? По-видимому, единственным разумным объяснением может быть быстрый смыв этого

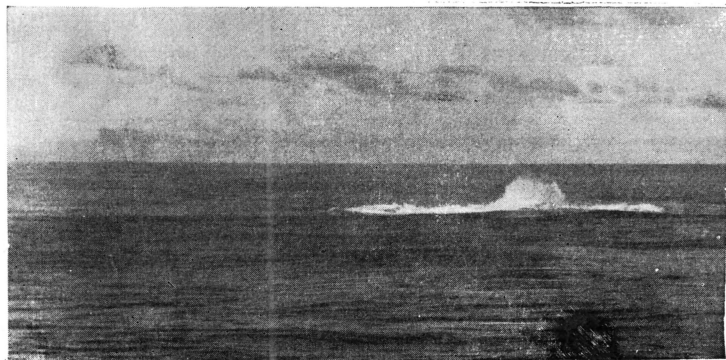
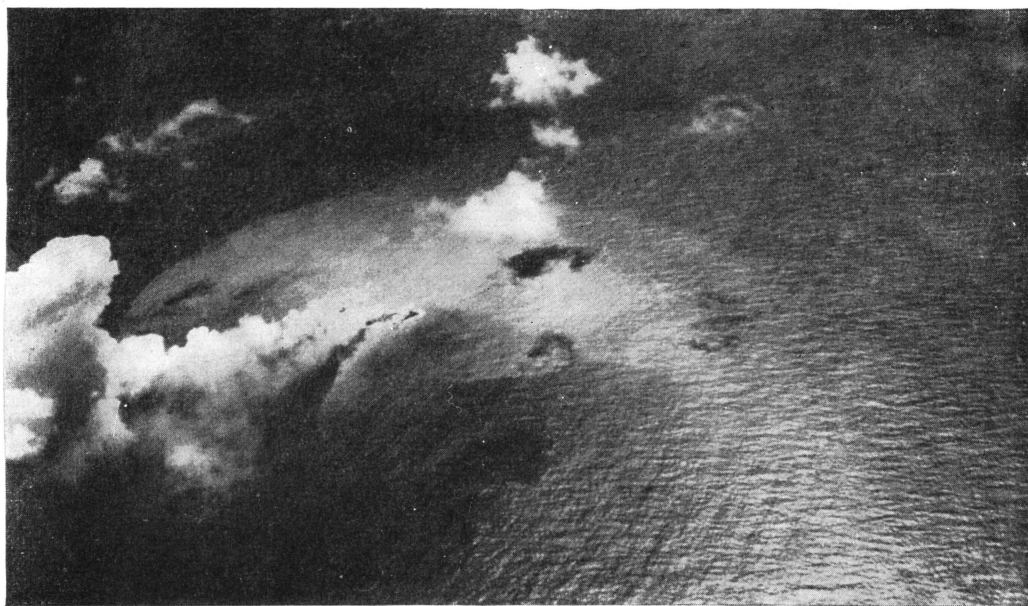


Начало извержения вулкана Метис 14 декабря 1967 г. От вулкана на большую высоту поднимаются клубы пара

Фото Дж. Ричелмана

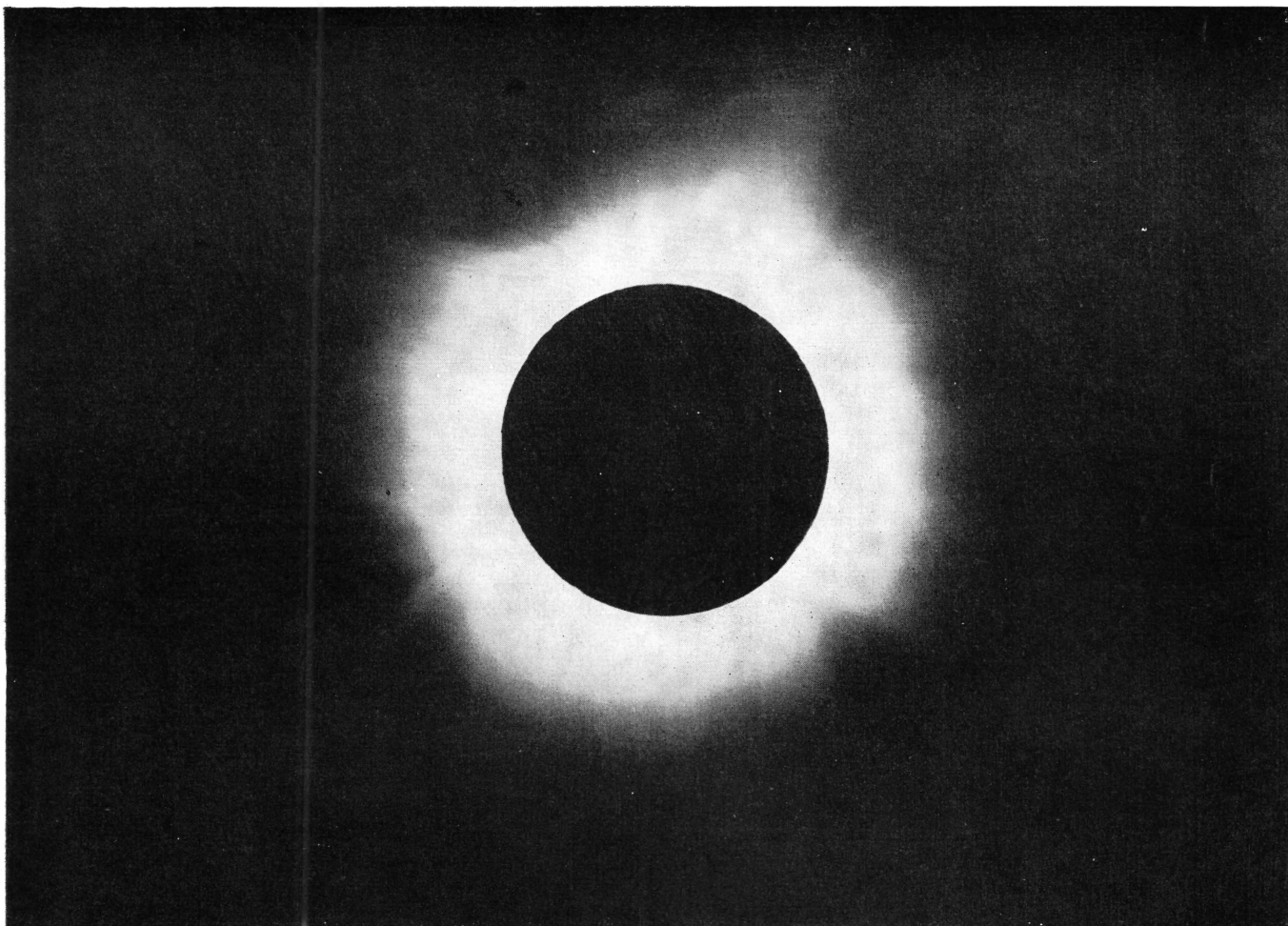
Конечная стадия извержения. (Вид с воздуха 30 декабря 1967 г.) На снимке — остров, образовавшийся из вулканического пепла, пемзы и шлака. От падающих в воду раскаленных пемзовых глыб поднимается пар. Вокруг острова заметен овал мутной воды, насыщенной пеплом

Фото Т. М. Холмса



Банка Метис 13 февраля 1968 г. Буруны над мелью — это все, что осталось от размытого острова

Фото И. О. Мурдмаа



КОГДА СЛЕДУЮЩЕЕ ЗАТМЕНИЕ?

22 сентября 1968 г. на территории Советского Союза, в узкой полосе, проходившей через Урал и Казахстан, наблюдалось полное солнечное затмение.

Погода благоприятствовала астрономам. Затмение успешно наблюдали экспедиции советских и зарубежных ученых в Шадринске, Юргамыше, Еселе, Сарышагане, Каражале, Ченгильды. Получены прекрасные снимки солнечной короны и протуберанцев, проведены важные научные исследования.

Скоро ли можно будет вновь увидеть в нашей стране полное затмение Солнца? Почему-то в печати распространился слух, что минувшее затмение — последнее полное затмение Солнца в XX в. на территории СССР. К счастью, это не так.

Ближайшее полное солнечное затмение можно будет наблюдать в СССР через 4 года — 10 июля 1972 г. Оно начнется при восходе

Эта фотография солнечной короны получена в середине полной фазы затмения 22 сентября 1968 г. сотрудником Астрономической обсерватории Киевского государственного университета А. Т. Несмяновичем (Каражал, Карагандинская область). Фотография сделана с помощью коронографа (фокусное расстояние 5 м). В 1968 г. корона была почти симметрична, такую форму корона обычно имеет в годы максимума солнечной активности.

Солнца в северной части Сахалина, затем будет видно в Охотском море, у северо-восточных берегов Камчатки, в Корякском и Чукотском национальных округах (здесь длительность полной фазы превысит 2 минуты, а в 1968 г. всего около 43 секунд).

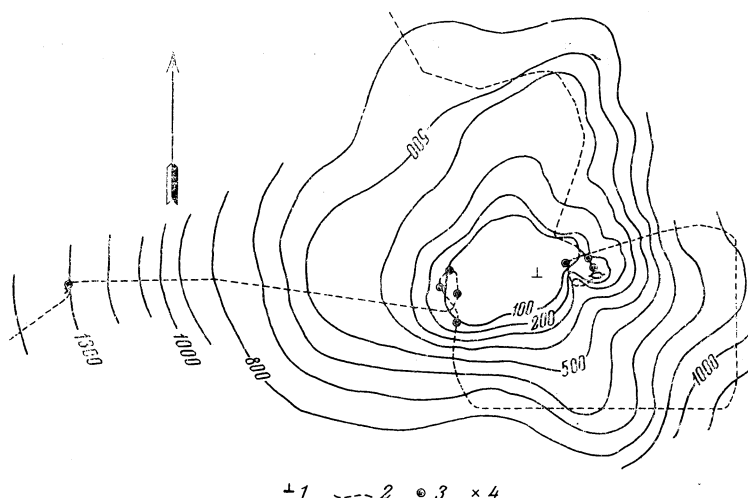
Следующее полное солнечное затмение будет наблюдаться в нашей стране 31 июля 1981 г. На этот раз тень Луны вступит на территорию СССР в южной части Черноморского побережья Кавказа, пересечет Грузинскую ССР, Ставропольский край, северную часть Казахской ССР, пройдет недалеко от Новосибирска, Кемерово, Красноярска, Братска, через Амурскую область (здесь оно будет наблюдаться около

полудня в течение 130 секунд), Хабаровский край, Сахалин, некоторые Курильские острова.

В Мурманской области, на арктических островах и в Северо-Восточной Сибири полное затмение Солнца будет видно 22 июля 1990 г. Его наибольшая длительность (в районе пролива Дм. Лаптева) достигнет 156 секунд. А вот затмение 9 марта 1997 г., которое можно будет наблюдать в тех же районах Северо-Восточной Сибири, будет действительно последним затмением века на территории СССР. Его длительность в устье реки Индигирки составит 168 секунд.

В. А. БРОНШТЭН
кандидат физико-математических наук

СХЕМА МАРШРУТА «Витязя» у вулкана Метис. Изобаты (в метрах) выявляют коническую форму подводной горы: 1—надводные скалы; 2—маршрут «Витязя»; 3—точки взятия проб со дна (геологические станции); 4—место фотографирования дна



материала волнами и течениями с вершины вулкана. Но такой быстрый размыв острова и смыв обломочного материала мог произойти благодаря определенному составу продуктов извержения.

Каков же был этот состав? Кроме газов и паров, вулкан Метис выбрасывал раскаленные обломки сильно пористых шлаков и пемзы, тучи пепла. Жидкая лава, которая при застывании образует прочную вулканическую породу, не излилась. Этой особенностью извержение вулкана Метис напоминает деятельность многих вулканов архипелага Тонга. Все они, как это вообще характерно для вулканизма островных дуг, отличаются высокой explosивностью, т. е. резким преобладанием взрывообразных выбросов пирокластического материала (эксплозий) над излияниями лавы (эффузиями). При этом вулканы Тонга, в том числе Метис, отличаются преобладанием сильно пористых продуктов, особенно пемзы — «окаменевшей пены», образующейся при насыщении лавы газовыми пузырьками. Эта особенность проявилась и при извержении 1967—1968 гг.

Значительная часть выброшенных вулканом твердых продуктов быстро уплыла. На некоторых фотоснимках, сделанных во время извержения, хорошо видны крупные обломки пемзы, плавающие на поверхности океана; очевидцы описывают большие пемзовые поля, увлекаемые поверхностным течением. На островах Фиджи мы узнали, что пемза извержения на банке Метис доплывала даже туда

(на расстояние более 700 км). Более тонкий вулканический пепел тонет быстрее, поскольку поры в его частицах, как правило, открытые, но все же и он может легко переноситься водой во взвешенном состоянии. Вот почему вновь образовавшийся вулканический остров был «развеян» по морю волнами и течением.

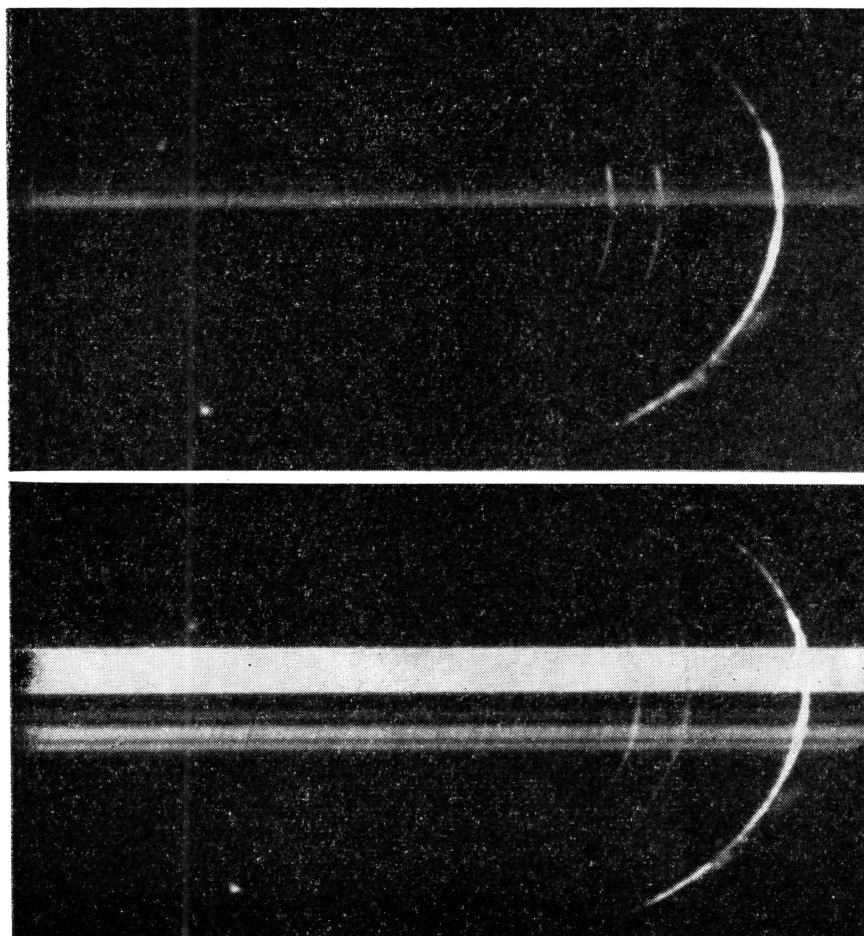
Можно предположить, что в известной мере благодаря плавучести пемзы уцелела и жизнь на дне вблизи вулкана. Раскаленные обломки либо распределились по поверхности воды и не достигли дна (большая часть), либо скопились в непосредственной близости от кратера в виде острова, слабо воздействуя на окружающий подводный ландшафт.

Такова история острова Метис, свидетельствующая о том, что помимо исчезающе медленных существуют и очень быстрые геологические процессы, преобразующие нашу планету. Остров Метис — прекрасный пример извечной борьбы между двумя силами, двумя источниками энергии геологических процессов: внутренней энергией планеты, разрешающейся в вулканических процессах, и энергией Солнца, трансформированной в энергию внешних (экзогенных) геологических явлений, а в данном случае выражающейся в могучем действии океанских вод, за месяц смывших «с лица земли» порожденный вулканом клочок суши.

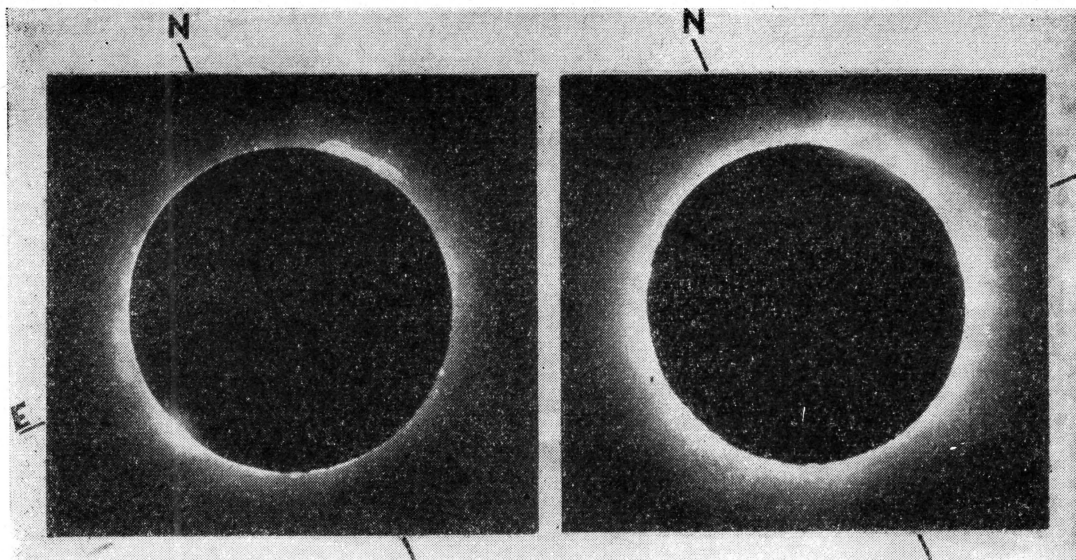
И. О. МУРДМАН
кандидат геолого-минералогических наук

НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕ- НИЯ 22 СЕНТЯБРЯ 1968 г.

В Юргамыше (Курганская область) проводили наблюдения солнечного затмения многие советские и зарубежные экспедиции. Ниже мы публикуем фотографии, полученные экспедицией ИЗМИРАНа. (Группа физики солнечной активности, руководитель Г. М. Никольский).



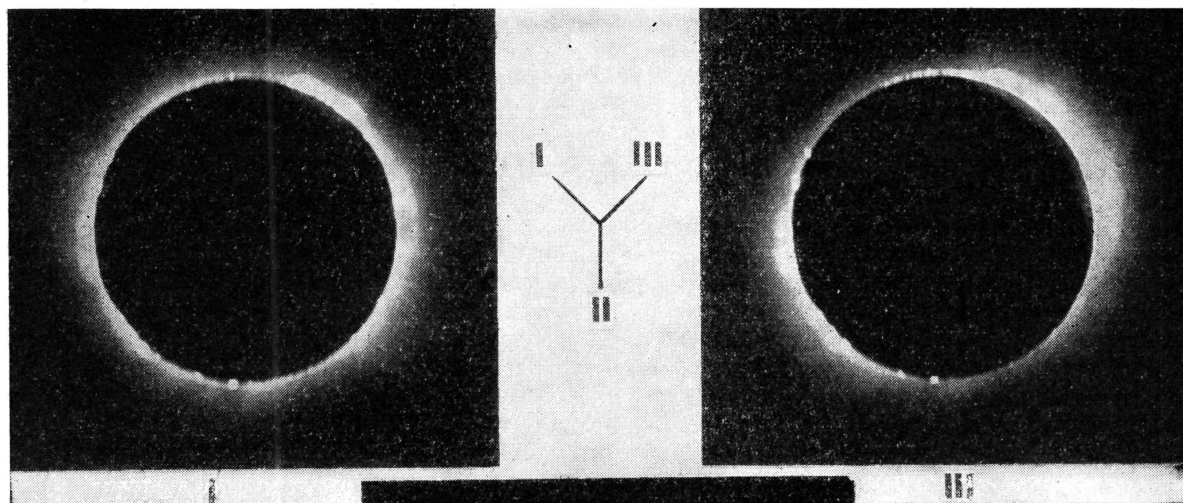
**«БЕСЩЕЛЕВЫЕ»
СПЕКТРЫ ХРОМОСФЕ-
РЫ** в области линии ге-
лия D_3 (5876 Å). Спектр
вверху получен за 1,3
секунды до конца полно-
го затмения. Более яр-
кий серп — изображение
хромосферы и протубе-
ранцев в линии D_3 ; ме-
нее яркие серпы при-
надлежат дублету нат-
рия (5890 и 5896 Å). На
фоне полосы непрерыв-
ного спектра нижней
хромосферы заметны
слабые эмиссионные ли-
нии излучения (на ори-
гинальном снимке видно
25 линий). Спектр внизу
получен через 0,5 секун-
ды после полного затме-
ния, когда стал виден
небольшой участок фо-
тосферы, давший яркую
полоску непрерывного
спектра. На обоих сним-
ках в левой части видны
яркие точки — изображе-
ния протуберанцев в ли-
нии D_3 . Снимки сдела-
ны с помощью кинока-
меры и «бесщелевого»
спектрографа



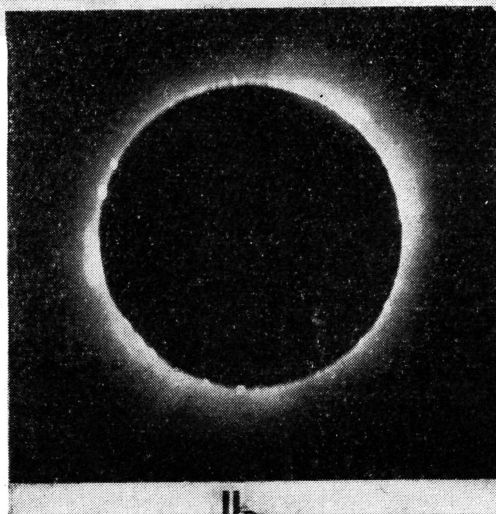
ВНУТРЕННЯЯ КОРОНА. 12-я секунда полной фазы, выдержка $\frac{1}{100}$ секунды

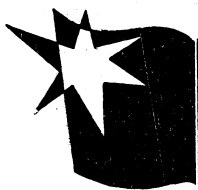
СРЕДНЯЯ КОРОНА. 20-я секунда полной фазы, выдержка $\frac{1}{25}$ секунды

Снимки получены Н. С. Шиловой на телескопе системы Максудова с фокусным расстоянием в 1 м. Показано положение оси вращения Солнца



ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СНИМКИ КОРОНЫ при различных положениях поляроида (направления осей поляроида показаны в центре рисунка). I — 13-я секунда; II — 20-я секунда; III — 30-я секунда полной фазы. Снимки получены А. А. Сазановым на телескопе системы Максудова с фокусным расстоянием в 1 м. Поляроид устанавливался перед фокальной плоскостью телескопа





Каналы Марса — сеть жизни?

Ю. К. Ф И Л И П П О В

Марсианские каналы вот уже 90 лет являются предметом споров. Об этом написано так много, что здесь нет смысла подробно излагать содержание всех гипотез, домыслов, а подчас и откровенных спекуляций. Напомним, первым открыл эти образования на поверхности Марса Дж. Скиапарелли. Он и дал им название «canali», что, впрочем, по-итальянски означает всего лишь «пролив».

Впоследствии наиболее крупные каналы были сфотографированы, а Р. Тремплер и Э. Слайфер составили даже подробные фотокарты марсианских каналов.

При наблюдениях с большим разрешением каналы теряют свой линейный вид и распадаются на цепочки пятен. Эти темные пятна, как и темные ядра, образующие мозаичную структуру «морей», по-видимому, имеют одинаковую природу, так как обнаруживают сезонные изменения интенсивности.

В свое время П. Ловелл пришел к мысли, что каналы являются искусственными сооружениями марсиан и предназначены для распределения скудных водных ресурсов. Гипотеза Ловелла завоевала большую популярность, но вскоре была оставлена, поскольку противоречила целому ряду фактов. В наше время, чтобы убедиться в несостоятельности этой гипотезы, достаточно указать лишь на одно обстоятельство. На Марсе очень низкое атмосферное давление (по современным данным около 10 мбар) и крайне мала влажность атмосферы. При таких условиях интенсивный водообмен по каналам не может осуществляться, даже если предположить, что в полярных областях сосредоточены большие запасы подпочвенного льда: слишком уж узок

интервал температур, в котором на Марсе вода может находиться в жидком состоянии, — всего несколько градусов! Полярные шапки представляют собой тонкий слой инея, который во время марсианской весны сублимирует, а не тает. Влага на Марсе переносится только через атмосферу.

Современные варианты построений Ловелла подверг подробной критике К. А. Любарский. «Волна оживления», идущая от шапок, охватывает последовательно все темные области, независимо от того, подходит к данному участку канал или нет. Уже по этой причине гипотеза об оросительной системе представляется абсурдной. Мало того. Нынешние последователи Ловелла пытаются модернизировать каналы в «глобальную водопроводную сеть», но совершенно не замечают, что работает она по неразумному принципу. Почему вода не подгоняется к экватору заблаговременно, а поступает лишь тогда, когда лучшее время для «марсианского земледелия» уже упущено? Зачем перегонять воду, скажем, от северной полярной шапки через экватор, когда экономичнее подавать ее с южного полюса? Обвинять марсиан в неразумности, пожалуй, нет смысла, скорее несерьезны доводы тех землян, которые отстаивают подобные гипотезы.

И все-таки, каким же образом на Марсе возникла сеть каналов?

В настоящее время выдвинуто немало гипотез, объясняющих происхождение каналов естественным путем: ударами метеоритов, тектоническими разломами или отложениями вулканического пепла. Но увы, все они недостаточно обоснованы (что со злорадством от-

мечено сторонниками технологической гипотезы). Это объясняется тем, что мы плохо знаем внутреннее строение Марса и характер геологических, или правильное, «ареологических» процессов, которые, вероятнее всего, и ответственны за возникновение каналов. К тому же, высказываются предположения, что мы наблюдаем не сами каналы, а растительность, для которой по тем или иным причинам вдоль каналов создаются благоприятные условия. Растительность как бы выявляет каналы. Таким образом, марсианские каналы — результат действия двух факторов: «ареологического» и биологического. Но не все ученые согласны с этой точкой зрения.

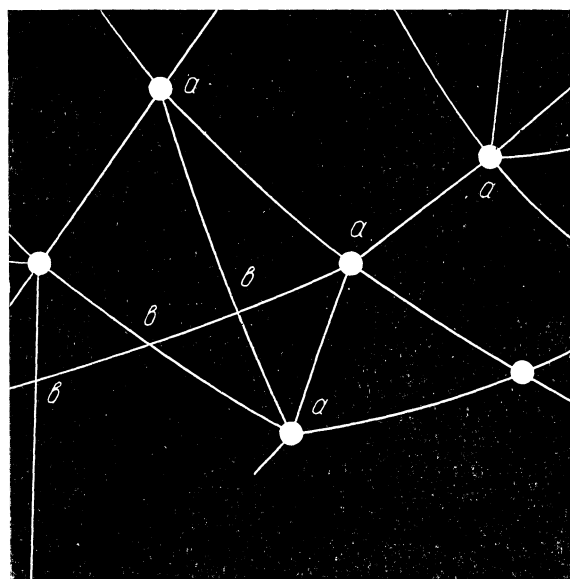
Недавно была выдвинута новая гипотеза о природе темных областей и каналов, которая может обойтись и без биологического фактора. Согласно этой гипотезе, авторы которой — американские ученые К. Саган и Д. Поллак, каналы Марса представляют собой гряды тектонического происхождения, подобные горным хребтам, находящимся в земных океанических впадинах. Эти ученые считают темные области Марса большими горными плато, возвышающимися на несколько километров над соседними светлыми областями. Темный цвет плато объясняется тем, что здесь обнажены коренные скальные породы, а сезонные изменения есть результат периодического наноса и сноса пыли сезонными ветрами. По мнению Сагана и Поллака, Марс был бы очень похож на Землю, если бы Земля вдруг лишилась океанов. Темные области Марса аналогичны нашим континентам, а светлые — океаническим впадинам, но в отличие от земных, океаны Марса заполнены пылью. Гипотеза Сагана и Поллака была выдвинута в связи с неожиданными результатами радиолокационных наблюдений Марса (см. «Земля и Вселенная», № 1, 1968 г., стр. 38). Ей, однако, противоречат другие данные, в частности, измерения колебаний температуры в светлых и темных областях.

Все исследования Марса, начиная со времен Скиапарелли и Ловелла, ограничивались только качественным описанием сети каналов. В 1955 г. американский ученый А. Уэбб подошел к этому вопросу иначе. Он применил к анализу сети марсианских каналов математическую теорию графов.

Теория графов используется для статистического исследования различных геометрических схем, в том числе и сетей. Любая сеть представляет собою граф, т. е. сложную

геометрическую фигуру, состоящую из точек и отрезков линий — лучей. Необходимым условием для образования сети является наличие точек, соединенных не менее чем тремя лучами с соседними точками. Эти точки называются первичными или узлами. Кроме того, в сети имеются вторичные или случайные точки. Они образуются при пересечении линий, идущих от первичных точек. Вторичные точки характерны тем, что в них пересекающиеся линии не меняют направления.

Для исследования сети марсианских каналов Уэбб взял карты Марса, составленные по наблюдениям Ловелла и Тремплера. Для анализа сети был применен следующий статистический метод. Было подсчитано число первичных точек (узлов), из которых исходят 3, 4, 5 и большее число лучей (каналов). Двухлучевые точки не подсчитывались, ибо при малом угле между лучами можно легко принять все образование за единый канал. На карте Марса за первичные точки принимались «базисы». Затем было подсчитано число вторичных точек, образующихся при случайном пересечении каналов. К случайным



УЧАСТОК СЕТИ МАРСИАНСКИХ КАНАЛОВ (по карте Р. Тремплера 1924—1926 гг.). Указаны первичные точки (а), соединенные не менее чем тремя лучами с соседними точками, и вторичные точки (б), образующиеся при пересечении линий, идущих от первичных точек

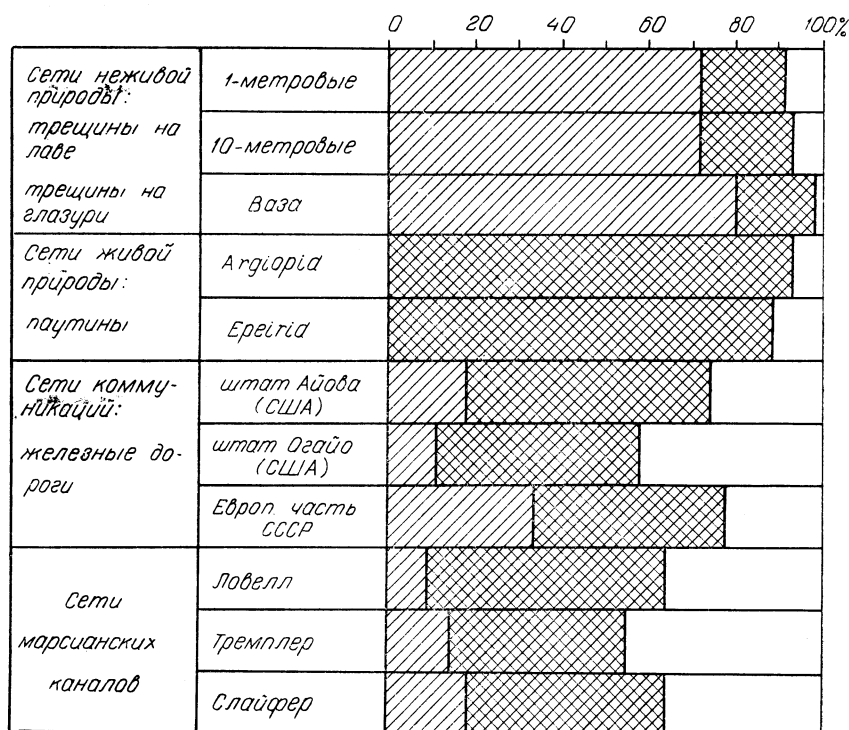
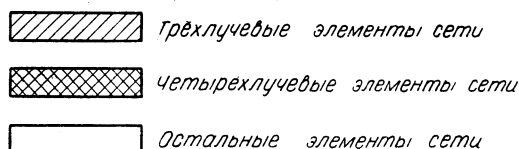
точкам относили также все точки с одним лучом. Далее находилось отношение числа каналов, входящих в узлы и случайные точки определенной кратности, к общему числу каналов. Пример такого анализа приведен в таблице. Из нее видно, что большая часть каналов объединяется в одном узле по четыре (43%). Число каналов, объединяющихся по три, составляет значительно меньшую долю (15,4%). На это обстоятельство следует обратить особое внимание. Какой смысл имеет преобладание в сети четырехлучевых элементов?

Оказалось, что различные сети характеризуются преобладанием точек различной кратности. Уэбб исследовал сети неживой природы (трещины на поверхности застывшей лавы и трещины на глазури), сети живой природы (паутину) и сети коммуникаций (железные дороги США). В 1966 г. автор

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕТИ МАРСИАНСКИХ КАНАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ УЭББОМ

Число каналов на узел или случайную точку	Число первичных точек (узлов)	Число вторичных или случайных точек	Всего точек	Всего каналов в точках	Доля каналов, входящих в точки данной кратности, от общего числа каналов, входящих в точки (в %)
1	0	22	22	22	2,1
2	0	0	0	0	0
3	40	13	53	159	15,4
4	53	58	111	444	43,0
5	37	5	42	210	20,3
6	18	3	21	126	12,2
7	9	0	9	63	6,1
8	1	0	1	8	0,9
Всего	158	101	259	1032	100,0

Типы сетей
% каналов для соответствующих типов узлов к общему числу каналов



РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ СЕТЕЙ методом статистической классификации. Видно, что в сетях неживой природы преобладают трехлучевые элементы (72—78%); сети живой природы состоят почти целиком из четырехлучевых элементов (90%)

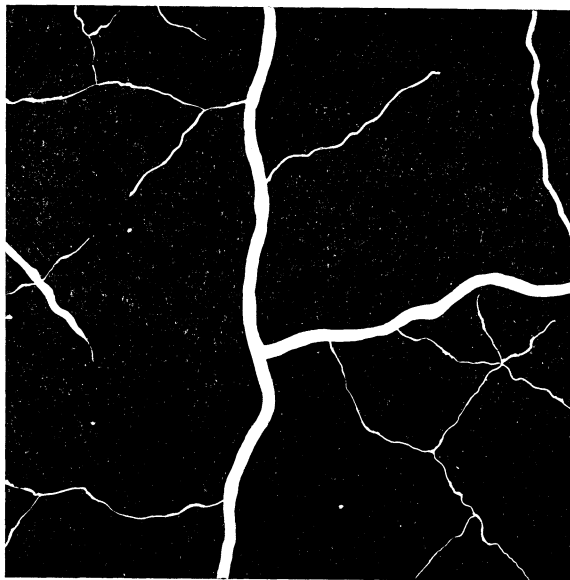
этой статьи провел такой же анализ сети железных дорог европейской части СССР. Кроме того, он проделал еще одно, контрольное, исследование сети марсианских каналов по фотокарте Э. Слайфера 1960 г.

В сетях неживой природы, как показал анализ, преобладают трехлучевые элементы (72—78%). Это объяснить нетрудно. Если, например, лавовый покров растрескался в направлении север — юг, то другая трещина, идущая с востока на запад, не сможет уже пересечь первую. Сети живой природы резко отличны от всех других, так как почти целиком состоят из четырехлучевых элементов (90%).

Сети марсианских каналов оказались непохожими как на «живые», так и на «неживые» сети. По своей структуре они ближе всего к коммуникационным сетям: в тех и других в 3—4 раза больше четырехлучевых элементов, чем трехлучевых. Это обстоятельство может обрадовать тех, кто ищет доказательства разумной жизни на Марсе. Но считать каналы Марса железными дорогами, разумеется, столь же нелепо, как и принимать их за паутину перед объективом телескопа. И все же сеть марсианских каналов в чем-то оказывается родственной сетям жизни. Может ли это быть сеть, составленная из полос растительности? Если считать, что растительность вдоль каналов лишь «проявляет» ранее существовавшие структуры, то свойства такой сети должны быть близки к сетям неживой природы. Но может быть растительность слабо привязана к рельефу и образует самостоятельную сеть? В чем же тогда причина столь странного линейного расположения растительности? На все эти вопросы ответа пока нет.

Не исключено, конечно, и то, что пока исследовано слишком мало природных сетей. Все изученные до сих пор «неживые» сети образованы термическим растрескиванием. Глобальные геологические сети разломов, горных хребтов, сбросов и т. д. пока такому исследованию не подвергались. Не исключено также, что среди них найдется аналог марсианских каналов.

Ответы на все эти волнующие вопросы будут даны, вероятно, когда мы сумеем осуществить посадку на Марс контейнера с приборами и получить снимки с большим разрешением, чем делали до сих пор. Можно ли надеяться, что к 100-летию со дня открытия



*УЧАСТОК ЛАВОВОГО ПОКРОВА С ТРЕЩИНАМИ.
Преобладают трехлучевые элементы*

марсианских каналов их тайна будет раскрыта?

Пусть читатель не подумает, что автор призывает покончить с дискуссией и дожидаться лучших времен, когда новые «Марсы» и «Маринеры» сообщат о своих открытиях. Все это не так просто. Сам автор вполне согласен с мнением популярного однофамильца: «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе — науке это не известно». Но такая неопределенность никого, конечно, не устраивает. Дискуссии вокруг «великой загадки» ведутся и будут вестись еще долго. Едва ли они прекратятся даже тогда, когда «Марс-9» или «Марс-13» достигнут места назначения. Ведь спорят же и сейчас астрономы о том, есть ли мерзлота под лунным грунтом!

Как растет число искусственных спутников Земли

В. В. БАЗЫКИН

После начала «космической эры», открытой запуском первого советского искусственного спутника Земли, число искусственных космических объектов непрерывно возрастало. К первым советским спутникам вскоре прибавились американские, затем спутники Англии, Канады, Италии, Франции и Австралии, запущенные с помощью американских ракет, и, наконец, спутники Франции — третьей страны, осуществившей запуски спутников собственными ракетами. В настоящее время готовятся к запускам спутников новые страны: ФРГ, Япония и др. Правда, трудно ожидать, что эти страны, даже вместе взятые, смогут сравниться по числу запусков с Советским Союзом и США.

Космические исследования, столь необходимые для развития науки и для практических нужд, несомненно, будут расширяться. Существенно, что в ближайшем будущем, по-видимому, значительно снизится стоимость вывода спутника на орбиту. По расчетам некоторых зарубежных авторов, стоимость вывода на орбиту 1 кг полезного груза, колеблющаяся в настоящее время от 2000 до 59 400 долларов, может быть снижена до 10—20 долларов.

Каждый удачный запуск, как правило, сопровождается выходом на орбиту не только спутника или космического зонда, но и, по крайней мере, еще нескольких тел: последних ступеней ракет, частей носового обтекателя, контейнеров и т. п. Таким образом, число искусственных объектов в околоземном пространстве быстро растет и может вызвать нежелательные последствия — затруднить оптические наблюдения спутников, создать угрозу столкновений для новых спутников и

пилотируемых кораблей и т. д. Поэтому уже сейчас представляет определенный интерес прогноз возможного в недалеком будущем числа объектов на околоземных орбитах.

На одном из симпозиумов Американского астронавтического общества (1967 г.) отмечалось, что если темпы запусков не сократятся, то к 1990 г. на околоземных орбитах накопится до миллиона таких объектов. Автор, исходя из того факта, что в первые годы «космической эры» число запусков возрастало по экспоненте, получил весьма близкую величину — 1,2 млн. Уже в 1974 г. запуски должны были бы происходить через каждые 4 часа 15 минут! Экспоненциальным законом, по-видимому, пользовались и американские ученые.

Общие соображения, казалось бы, не противоречат подобным «прогнозам». Однако, тщательно проведенная статистика, включающая сведения до середины 1968 г., опровергает их. Она выполнена на основании данных Астрономического совета АН СССР, Смитсоновской астрофизической обсерватории (Бостон, США) и Королевского военно-воздушного исследовательского центра (Фарнборо, Англия), которые ведут наиболее полную «инвентаризацию» космических объектов и их деталей. Оказалось, что начиная с 1963—1965 гг. рост общего числа запусков (как и запусков в отдельных странах) не подчиняется экспоненциальному закону.

Число запусков N с течением времени t изменяется по закону, который приближенно выражается соотношением вида:

$$N = \frac{A}{1 + Be^{-at}}. \quad (1)$$

При возрастании t значение N стремится к пределу, равному A .

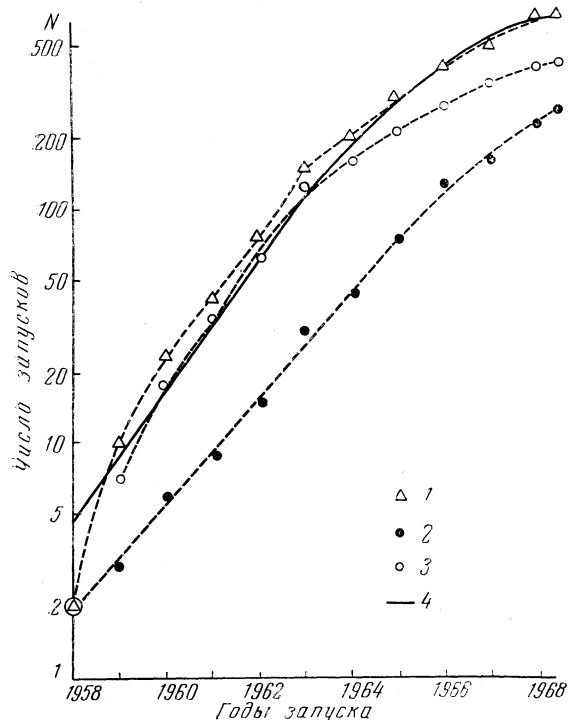
Для общего числа запусков получено:

$$N = \frac{816}{1 + 171e^{-0,65t}}, \quad (2)$$

где t отсчитывается в годах от начала 1957 г.

Наибольший интерес представляют спутники, выведенные на относительно близкие к Земле орбиты. Именно их число позволяет судить о «тесноте» в космосе и в значительной мере характеризует тенденции развития космонавтики. Рассмотрим отдельно рост числа запусков этих спутников и их количество.

«Низкими» орбитами условимся считать геоцентрические орбиты с высотой перигея,



РОСТ ОБЩЕГО ЧИСЛА ЗАПУСКОВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ на начало каждого года (1). Отдельно показано изменение числа запусков в СССР (2) и США (3). К последним отнесены и запуски так называемых «международных» спутников (английских, канадских и др.), запущенных американскими ракетами с американских космодромов. Уже начиная с 1963—1965 гг. рост числа запусков не подчиняется экспоненциальному закону. Изменение общего числа запусков (4)

аппроксимируется кривой $N = \frac{A}{1 + B e^{-at}}$

меньшей 1 радиуса Земли (6400 км). Таким образом, из рассмотрения исключаются все автоматические межпланетные станции (АМС) серии «Зонд», «Луна», «Венера», «Марс», «Рейнджер», «Маринер», «Сервейер» и др., а также спутники, выведенные на синхронные или еще более высокие орбиты. К числу «низких» отнесены и спутники на орбитах с большим эксцентриситетом (спутники типа «Молния-1», несколько американских «Эксплореров» и др.), поскольку они на непродолжительное время все-таки приближаются к Земле. Если при одном запуске на орбиту выходило несколько спутников, каждый из них учитывался особо.

Характер изменения общего числа запусков «низких» спутников (так же, как и числа запусков этих спутников в США и СССР) мало отличается от характера изменения числа запусков всех космических объектов. Это объясняется тем, что относительное количество АМС и спутников на «высоких» орбитах невелико. Поэтому мы не приводим отдельные графики для «низких» спутников.

Особый интерес представляет рост числа спутников, сохранившихся на орбитах. После 1962—1963 гг. он тоже не подчиняется экспоненциальному закону, а приближенно описывается соотношениями вида (1), а именно:

$$\text{общее число спутников } N = \frac{349}{1 + 133e^{-0,635t}}, \quad (3)$$

$$\text{число американских спутников } N = \frac{280}{1 + 195e^{-0,7t}}, \quad (4)$$

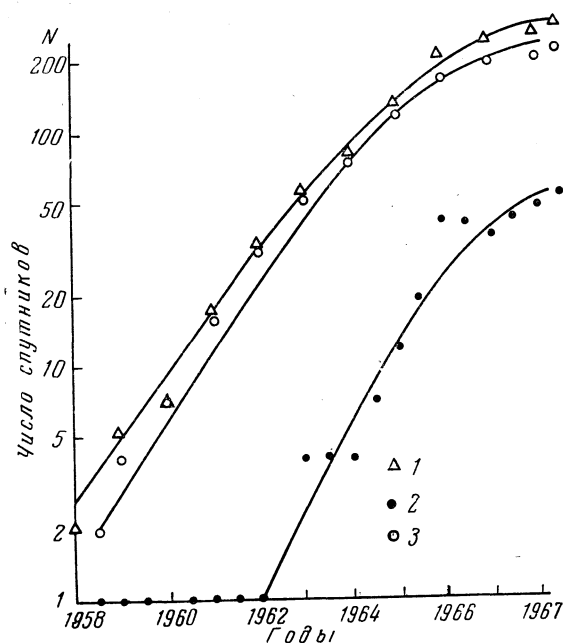
$$\text{число советских спутников } N = \frac{65}{1 + 2305e^{-0,9t}}, \quad (5)$$

где, как и раньше, t — в годах от 1957 г.

Общее число спутников, рассчитанное по формуле (3), отклоняется от фактического, начиная с 1960 г., в среднем на 6—7%, таким образом, формула с достаточной точностью описывает изменение числа «низких» спутников, оставшихся на орбите к концу каждого данного срока. Формулы (4) и (5) дают лишь качественную картину.

Итак, есть основание полагать, что общее число спутников на орбитах стремится к некоторому пределу — около 400 спутников — и что этот предел будет достигнут практически в ближайшем будущем.

Труднее вопрос о числе деталей на орбитах. Соответствующая кривая не может быть описана достаточно простым уравнением, но



РОСТ ОБЩЕГО ЧИСЛА СПУТНИКОВ, сохранившихся на орбитах на начало каждого года (1). Отдельно показано число советских спутников (2) и спутников США (3). Сплошные линии соответствуют уравнениям (3—5)

показывает определенную тенденцию к уменьшению числа деталей. Это объясняется случайным характером происхождения деталей. Так, после взрыва последней ступени американской ракеты 29 июля 1961 г. (запуск спутника «Транзит-4А») на относительно высокой орбите (перигей около 900 км и апогей около 1000 км) появилось 215 осколков, из которых около 200 все еще остаются на орбитах. Взрывы космических объектов происходили и в последующие годы, но на более низких орбитах, поэтому осколки быстро прекращали существование. Сколько подобных взрывов произойдет в будущем — судить трудно, но совершенствование систем управления, несомненно, сократит эти редкие случаи. В среднем, по данным на июнь 1968 г., каждый запуск спутника сопровождался выходом на орбиты 3,77 детали. Поэтому верхний предел их количества, вероятно, не превысит 1300—1500.

На первый взгляд полученные выводы о замедлении роста числа запусков представляются крайне пессимистичными, противо-

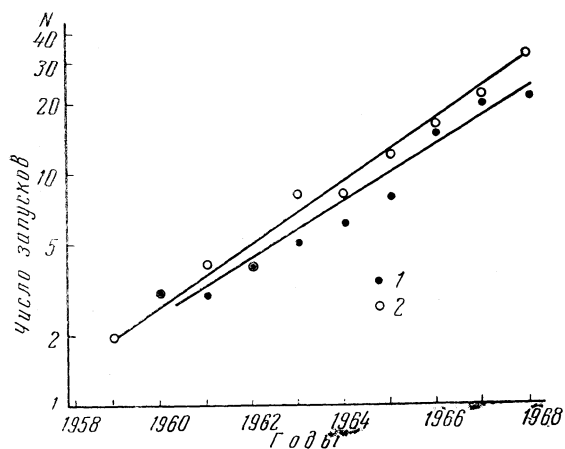
речащими распространенному мнению о безграничном прогрессе человечества и бесконечном времени его существования. Но известно, каким неблагоприятным трудом является прогнозирование явлений, близких к социальным (в данном случае такая близость несомненна!). Поэтому здесь, пожалуй, будет уместно повторить высказывание американского астронома И. Левитта, составившего в 1958—1959 гг. гипотетическую карту обратной стороны Луны: в том случае, если его прогноз в точности оправдается — он (автор) будет удивлен больше всех.

Нужно ли вообще человечеству огромное число, например миллион, спутников на околоземных орбитах? По-видимому, нет.

Конечно, отработка различных систем, в частности высоконадежных систем возвращения спутников, потребует в течение еще некоторого времени запусков «короткоживущих» спутников. В недалеком будущем к ним прибавятся пилотируемые корабли, предназначенные для обслуживания орбитальных станций. Все это, вместе с удешевлением запусков, приведет к тому, что в ближайшие годы число спутников на низких орбитах будет продолжать расти.

С другой стороны, каждый запуск дает огромные объемы информации, обработка которой требует большого времени и гораздо больших усилий ученых, чем сам запуск. В недалеком будущем это станет основным препятствием чрезмерного увеличения числа запусков.

Замедление темпов роста числа запусков будет сопровождаться переходом к другим космическим аппаратам, отличающимся от уже привычных нам искусственных спутников Земли. Совершенствование источников питания, радио- и телеметрической аппаратуры, средств управления спутниками расширяет возможности коррекции их траектории. Это позволит увеличить число «долгоживущих» спутников, способных вести измерения и передавать информацию в течение ряда лет даже на относительно низких орбитах, следовательно, способных заменить несколько спутников, необходимых прежде для тех же целей. К тому же результаты измерений, проведенных одним комплектом аппаратуры в течение длительного времени, часто более предпочтительны, чем полученные с помощью разных спутников. Вот почему уже в последние годы все больший удельный вес приобретают «долгоживущие» спут-



РОСТ ЧИСЛА ЗАПУСКОВ АМС в СССР (1) и США (2)

ники. Уже сейчас имеются спутники, аппаратура и источники питания которых работают более 5—6 лет. Среди них канадский ионосферный спутник «Алуэтт-1», некоторые американские навигационные спутники. Ведут передачи все французские спутники. Орбитальные станции с коллективом ученых на борту позволяют обходиться без многих спутников, поневоле нужных сейчас. Дальнейшее объединение усилий ученых разных стран, возможное в полной мере лишь после решения задачи всеобщего разоружения, еще больше сократит необходимое число спутников. В обозримом будущем ежегодно потребуются лишь небольшое число запусков для замены вышедших из строя метеорологических, связных, навигационных спутников, спутников для изучения природных ресурсов и других.

Таким образом, темпы роста числа запусков сократятся именно в связи с прогрессом человечества и расширением космических исследований. Определенная тенденция к стабилизации количества искусственных спутников уже возникла.

Рост числа запусков АМС колеблется, увеличиваясь в годы, благоприятные для их запусков к тем или иным планетам. В среднем, по-видимому, рост следует экспоненциальному закону. Скачок появится, вероятно, с началом запусков пилотируемых кораблей на Луну, а второй, более значительный — после создания лунных станций.

Существует и другая причина для ограничения числа запусков космических объектов уже в недалеком будущем. Это — неизбежное загрязнение атмосферы остатками топлива и продуктами его сгорания. Известно, что общий вес спутников и АМС, выведенных на орбиты Советским Союзом за 10 лет (включая вес последних ступеней ракет), составляет 1450 т*. Соответствующее число для космических объектов, запущенных в США к середине июня 1968 г., — около 850 т. Таким образом, в общей сложности, к середине 1968 г. на орбиты вышло около 2500 т (в том числе 0,4 т вывела Франция). Для этого, при существующих типах ракет и топлива, понадобилось 100 000 т топлива, которое в результате сгорания превратилось, в основном, в пары воды и углекислый газ. Указанное количество является исчезающе малой величиной в сравнении с общей массой атмосферы ($5,3 \cdot 10^{15}$ т) и количеством углекислого газа в ней (около $2,4 \cdot 10^9$ т). Правда, значительное количество ракетных газов достигает больших высот — 90—130 км, где заканчивается работа двигателей ракет. На этих высотах тоже находится лишь несколько сотен миллионов тонн воздуха.

С другой стороны, известно, что и малые примеси в атмосфере могут играть важную роль. Вспомним, например, что на высоте 15—50 км лишь несколько частей озона на миллион частей воздуха определяют температуру этой области, что свечение ночного неба происходит благодаря существованию гидроксильных ионов ОН и натрия, масса которого в атмосфере — около 20 кг. Водяные пары и углекислый газ играют большую роль в поддержании равновесия между поступающей и излучаемой радиацией. Если бы после выброса ракетами водяной пар и углекислый газ оставались на больших высотах длительное время, то это равновесие могло быть нарушено, что в конечном счете уже отразилось бы на климате Земли. Тот факт, что до сих пор, по-видимому, не обнаружены сколько-нибудь заметные следы воздействия ракетных газов на климат и состояние атмосферы, свидетельствует, по всей вероятности, о том, какой совершенной саморегулирующейся системой является атмосфера.

Однако при увеличении числа запусков и более или менее значительном насыщении атмосферы упомянутыми газами, а также

* В. Г. Петрович. «Вестник Академии наук СССР», 10, 1967.

многими другими веществами, содержащимися в топливе ракет, в том числе и парами металлов, этот механизм может отказать. Предвидеть последствия крайне трудно, тем более что специальных исследований, насколько известно, не проводилось, а схема общепланетной циркуляции атмосферы (как и стимулирующие ее процессы) недостаточно ясна. Если инжектированные в атмосферу газы увеличат свечение неба и поглощение инфракрасных лучей, то изменятся температура атмосферы, ее прозрачность, плотность электронов и отражательные свойства слоев.

К какому конечному состоянию могут привести подобные нарушения, в настоящее время судить трудно. Если отражательные свойства слоев атмосферы увеличатся, температура земной поверхности уменьшится из-за уменьшения радиации, проникающей сквозь атмосферу; но в результате уменьшится широтная разница температур, понизится скорость циркуляции атмосферы и скорость ветров, уменьшится испарение воды

над океаном, а значит, и облачность (отражающая в настоящее время 80% радиации). Больше количество солнечной радиации должно будет достигнуть Земли, и в итоге температура должна повыситься. Компенсирует ли это тепло то немедленное охлаждение, которое наступит после увеличения отражательных свойств атмосферы?

Если же широтный градиент температур в конце концов увеличится, — усилится циркуляция, а следовательно, и испарение океана, увеличится облачность, уменьшится поступающая радиация, и тогда произойдет похолодание.

Таким образом, неограниченный и нерегулируемый рост числа запусков спутников и связанный с этим возможный «разлад» в состоянии атмосферы, последствия которого еще совершенно не ясны, вовсе не явится показателем прогресса человечества. Безусловно, запуски спутников будут продолжаться, но нет оснований ожидать, что их число на орбитах будет расти до бесконечности.



ПОЛЕТ «АПОЛЛОНА-7»

11 октября 1968 г. с мыса Кеннеди был запущен космический корабль «Аполлон-7» с тремя космонавтами на борту. В состав экипажа корабля входили: 45-летний капитан ВМС США Уолтер Ширра (командир корабля), 38-летний майор ВВС Дон Эйзел и 36-летний Уолтер Каннингем. Уолтер Ширра совершил на корабле «Аполлон-7» третий космический полет (первый полет был совершен им 3 октября 1962 г. на космическом корабле «Меркурий», второй — 15 декабря 1965 г. на космическом корабле «Джеминей-7»).

Через несколько минут после запуска «Аполлон-7» вышел на орбиту, близкую к расчетной

(апогей — 280 км, перигей — 226 км). В конце второго витка корабль отделился от второй ступени носителя, с которой он обращался по орбите. Затем корабль развернулся и приблизился ко второй ступени ракеты. После этого «Аполлон-7» перешел на другую орбиту и стал продолжать полет.

На вторые сутки полета был произведен эксперимент по сближению корабля с обращающейся по орбите второй ступенью ракеты-носителя «Сатурн-1В». В течение 20 минут корабль и ракета совершали групповой полет, после чего «Аполлон-7» перешел на более высокую орбиту. Еще через сутки космонавты определи-

ли с помощью секстанта расстояние до второй ступени ракеты-носителя (результат сравнивался с данными наземных наблюдений), наблюдали в дневное время с бортовым телескопом около 50 звезд, чтобы изучить возможности звездной навигации при будущих полетах к Луне, а также выполнили маневр перехода на орбиту с меньшей высотой перигея.

Основная цель запуска «Аполлона-7» — отработка бортовых систем корабля и тренировка космонавтов. Уже на шестой день полета космонавты завершили около 2/3 намеченных программой экспериментов. В число экспериментов, выполненных космонавтами, входили также визуальные наблюдения специально выложенных на Земле знаков

(цель эксперимента — определить способность космонавтов использовать в будущем ориентиры на поверхности Луны), фотографирование облачного покрова и поверхности Земли, испытание системы терморегулирования, кратковременные включения маршевого двигателя космического корабля для имитации коррекции лунной траектории; командир экипажа неоднократно осуществлял ручное управление «Аполлоном-7». Уже к десятым суткам полета космонавты выполнили больше задач, чем намечалось по программе всего 11-дневного полета.

Во время орбитального полета с борта «Аполлона-7» было проведено 7 сеансов телевизионной передачи.

21 октября 1968 г. маршевый

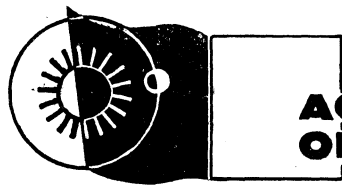
двигатель, развивающий силу тяги в 10 т, был включен на 66 секунд, при этом было сожжено 2 т топлива, высота апогея орбиты увеличилась с 280 км до 450 км. Подобный двигатель должен будет в свое время обеспечить вывод лунного корабля на селеноцентрическую орбиту и его возвращение на Землю.

Во время полета «Аполлона-7» оборудование корабля в основном работало нормально. Успешно были осуществлены и один из самых сложных и ответственных маневров — сход с околоземной орбиты, торможение и спуск. Отсек экипажа приводнился в районе, близком к расчетному, в нескольких сотнях километров к югу от Бермудских островов. Через 15 минут после приводнения, которое произошло 22 октября

1968 г. в 7 часов 12 минут по нью-йоркскому времени, «Аполлон-7» был обнаружен с вертолетов поиско-спасательной группы. Первые слова мужественных космонавтов, совершивших большое и трудное путешествие, были: «У нас все в порядке».

Полет «Аполлона-7» — новый значительный шаг в освоении космического пространства.

Когда уже был сверстан этот номер, стало известно об успешном полете по трассе Земля — Луна — Земля (21—27 декабря 1968 г.) американского космического корабля «Аполлон-8». На борту корабля находились три космонавта: полковник Фрэнк Борман (командир корабля), майор Уильям Андерс и капитан Джеймс Ловелл.



**АСТРОНОМИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**

Сферическая астрономия в средней школе

Р. М. БАРЕНБОЙМ

В журнале «Земля и Вселенная» № 1 за 1968 г. опубликована статья кандидата педагогических наук Е. П. Левитана «Новое в преподавании астрономии в средней школе». В статье поставлены серьезные и актуальные вопросы, которые волнуют каждого мыслящего педагога. Сейчас уже приближается время перехода к преподаванию астрономии по новой программе. В связи с этим я хочу остановиться на одном из затронутых в статье вопросов.

Давно установлено, что учащиеся без особого интереса изучают сферическую астрономию и со значительно большим вниманием относятся к астрофизике. Это обстоятельство сыграло известную роль в изменении школь-

ной программы по астрономии. В новой программе до минимума сокращен материал, связанный с вопросами сферической и практической астрономии. При этом, естественно, «перед методикой астрономии встает новая проблема: каким образом в условиях дальнейшего сокращения программного материала по сферической астрономии все-таки изложить основные элементы этого раздела, столь специфичного для самого курса астрономии»*. Проблема, действительно, серьезная, и уйти от ее решения нельзя. Она выходит за рамки очень небольшого, к сожалению, курса астрономии.

* «Земля и Вселенная», № 1, 1968, стр. 81.

Я преподаю математику и астрономию 15 лет и за это время убедилась, что такие вопросы, как смена времен года и смена лунных фаз, в X классе усваиваются с трудом.

Дело в том, что каждая учебная проблема имеет свой «возраст», т. е. тот возраст учащихся, когда их любознательность может быть легко и естественно направлена на эту проблему. Ученики X класса уже переросли «возраст» сферической астрономии, наступило время увлечения квазарами и антимирами.

Но это не единственная и не главная причина слабого усвоения основ сферической астрономии. Чтобы ученик мог усвоить основные понятия в этой области, нужно то же, что и для формирования всех вообще физикоматематических понятий — интенсивное и продолжительное интеллектуальное напряжение в процессе решения ряда задач различной трудности.

Но в V классе, где впервые, по существу, даются понятия сферической астрономии («математическая география»), учащиеся еще не владеют нужными знаниями по математике, пространственное представление у них не развито, поэтому возникает противоречие между абстрактным характером формируемых понятий и конкретным мышлением 11—12-летнего школьника. Между тем, возраст для формирования этих понятий уже наступил и через два — три года будет упущен.

Возникают следующие вопросы:

1. В каком возрасте и в каком школьном курсе учащиеся должны овладеть основами «математической географии»?

2. Какими методами нужно пользоваться для достижения прочных знаний в этой области?

Такие вопросы нужно решать общими усилиями психологов, географов, математиков и астрономов.

В настоящее время можно сделать следующие предположительные выводы.

Во-первых, учащиеся должны овладеть основами математической географии в V—VIII классах: ясно представлять себе зависимость широты места наблюдения от высоты полюса над горизонтом; иметь представление о смене времен года на планетах с различным наклоном оси; уметь вычислять полуденную высоту Солнца на разных широтах в дни равноденствий и солнцестояний; уметь пользоваться подвижной картой звездного неба.

Во-вторых, самые элементарные представления о математической географии учащиеся должны получить в курсе географии, но основные понятия и прочные знания — в курсе математики, в процессе решения задач. Чтобы осуществить это, незачем изменять программу по математике, — вполне достаточно подобрать задачи с астрономическим содержанием.

Возможны и другие решения. Во Франции, например, элементы математической географии и даже понятия об основных угломерных инструментах изучаются в курсе математики и предусмотрены программой.

Элементы математической географии обогащают курс математики, делают более понятной для учащихся универсальность математических методов, усиливают эмоциональную окраску самого процесса изучения математики.

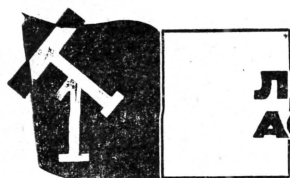
Формирование основных математико-географических понятий у детей — педагогическая задача исключительной трудности; поэтому вопрос о методах преподавания не может быть освещен в рамках этой статьи, но, учитывая уже упомянутый разрыв между абстрактностью формируемых понятий и конкретным характером детского мышления, следует подчеркнуть значение наглядности.

Нужно моделировать явления природы, создавать подвижные модели, которые были бы не только иллюстрациями к излагаемому материалу, но инструментом для решения задач и для проведения собственных небольших исследований. Необходима серия моделей, демонстрирующих связь между линиями и точками на поверхности Земли, изображенными на географическом глобусе, и линиями и точками небесной сферы (армилярная модель небесной сферы). Такие модели должны быть разработаны для учащихся разных возрастов.

Всесоюзное астрономо-геодезическое общество при Академии наук СССР могло бы помочь создать такие модели и проверить их эффективность в процессе преподавания.

ПОПРАВКА

График, приведенный на стр. 85 журнала «Земля и Вселенная» № 6, 1968 г., относится к широте 56°, а график на стр. 87 — к широте 50°



ЛЮБИТЕЛЯМ АСТРОНОМИИ—О ТЕЛЕСКОПАХ. IV*

Н. Н. МИХЕЛЬСОН

кандидат физико-математических наук

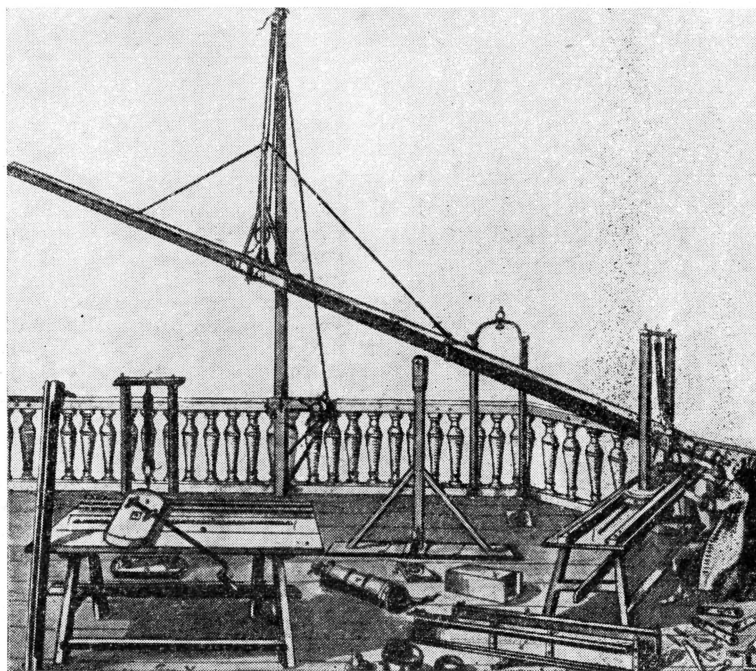
РЕФРАКТОРЫ

В простейших рефракторах, которые нередко применяют любители астрономии, объективом служит одиночная положительная линза. Но такая линза не может обеспечить хорошее качество изображения, поскольку ей присущи сферическая аберрация (если поверхности линз сферические, а это простейшая форма) и хроматизм. Чтобы уменьшить аберрации одиночной линзы, любителям приходится сильнее диафрагмировать объектив, используя только центральную часть его.

Исправить сферическую аберрацию, хроматизм и кому** в объективе рефрактора можно, лишь подбирая специальные сорта стекол (обычно используют крон и флинт) для линз и применяя сложные объективы. Для увеличения поля зрения телескопа и повышения его свето-

силы, объектив делают трех- или четырехлинзовым. Но в этом случае возрастает количество рассеянного света и поглощение его в толще линз.

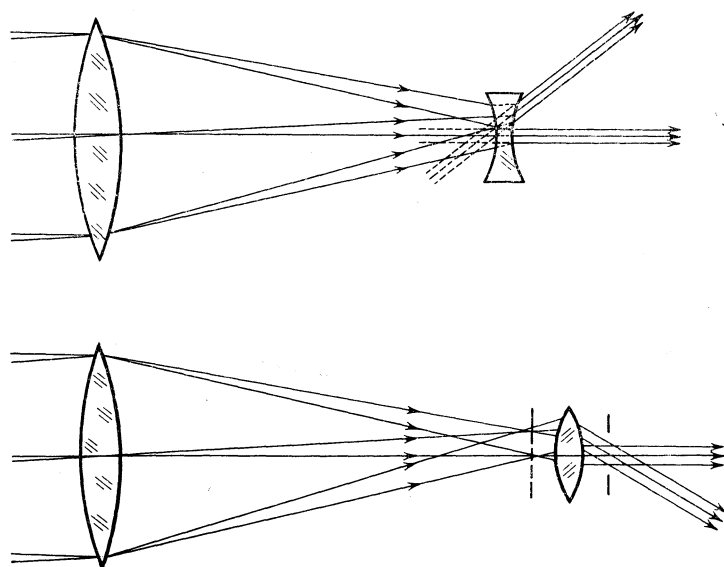
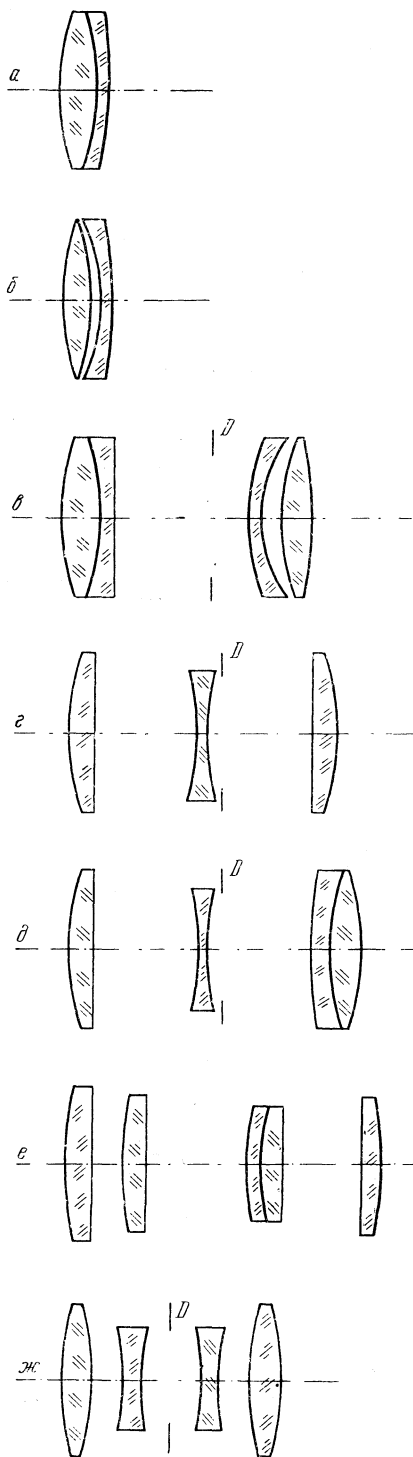
Поэтому сложными объективами снабжаются инструменты средних размеров, предназначенные для получения высококачественных снимков



ТЕЛЕСКОП Я. ГЕВЕЛИЯ. До XVIII в., пока не были изобретены ахроматические объективы, астрономы использовали в своих телескопах однолинзовые объективы и вынуждены были применять очень длинные малосветосильные трубы

* Продолжение. Начало см. «Земля и Вселенная», №№ 4, 5, 6, 1968 г.

** Подробнее об аберрациях объектива см. «Земля и Вселенная», № 5, 1968 г., стр. 80.

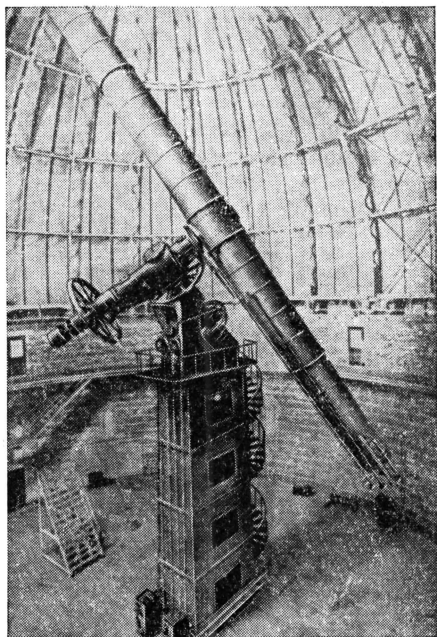


ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА И ХОД ЛУЧЕЙ в трубе Галилея (вверху) и в трубе Кеплера (внизу). В обоих телескопах объектив — одиночная положительная линза. Для окуляра в телескопе Галилея использована отрицательная линза. Если телескоп Кеплера дает перевернутое изображение, то телескоп Галилея — прямое. Поэтому театральные бинокли делаются по схеме Галилея, а все современные визуальные рефракторы — по схеме Кеплера

РАЗЛИЧНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ РЕФРАКТОРОВ: а — двухлинзовый склеенный объектив (диаметры таких объективов достигают 100 мм); б — двухлинзовый объектив крупного рефрактора; в — апланат Печваля (1841 г.), в котором хорошо исправлены сферическая aberrация и кома; г — триплет Кука (расчет Г. Тейлора, 1894 г.) обладает плоским полем, сферическая aberrация, кома и астигматизм хорошо исправлены; д — тессар с еще меньшими aberrациями, чем у триплета Кука; е — светосильный (1:5) четырехлинзовый объектив астрографа, рассчитанный А. Зоннефельдом; ж — симметричный широкоугольный четырехлинзовый объектив Росса с исправленной дисторсией (поперечник поля около 5°) для астрографа, относительное отверстие которого 1:8—1:10 (D — диаметр)

больших участков неба. Самые большие рефракторы имеют только двухлинзовые объективы.

Диаметры рефракторов ограничиваются, с одной стороны, чрезвычайной трудностью изготовления больших, достаточно однородных отливок стекла для объектива и, с другой стороны, нецелесообразностью постройки больших рефракторов. Дело в том, что линзы можно закрепить только по краю, а большие линзы прогибаются под собственным весом, и изображения искажаются. Чтобы линзы меньше прогибались, их приходится делать толстыми, но с увеличением толщины растет поглощение света в них. Именно поэтому после



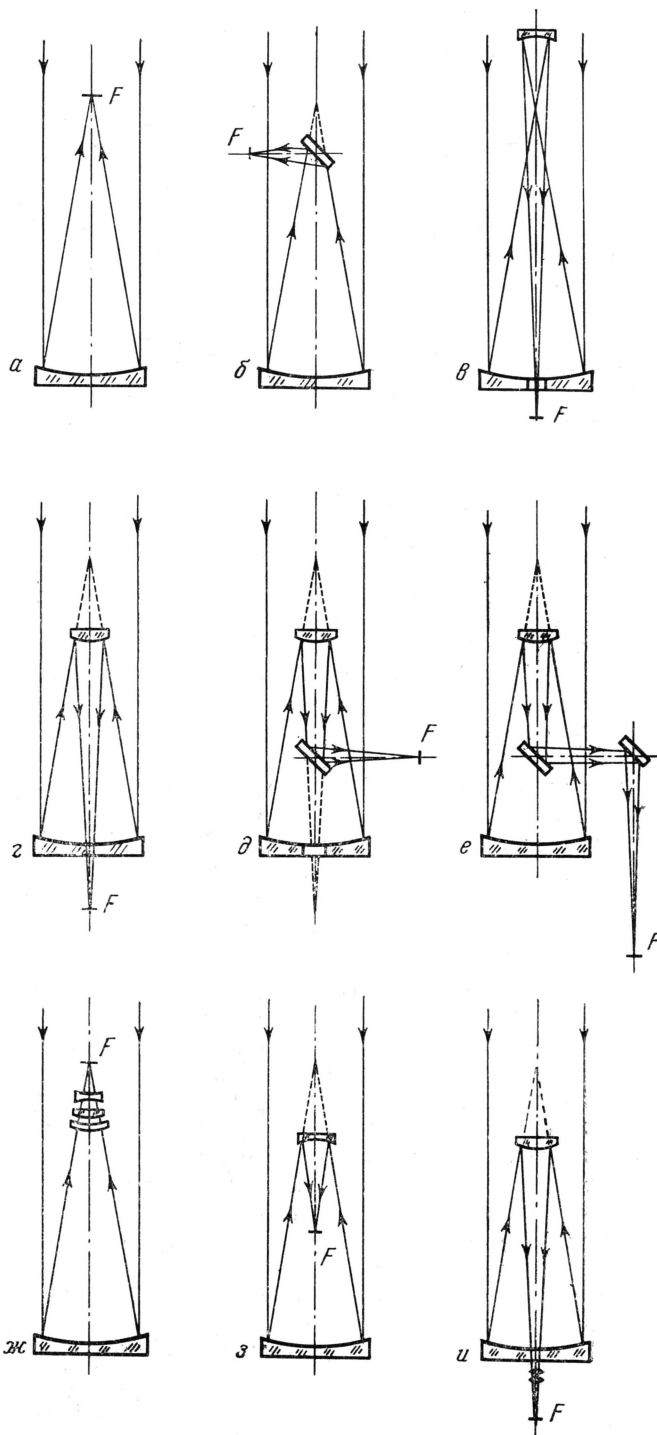
КРУПНЕЙШИЙ В МИРЕ РЕФРАКТОР с диаметром объектива 102 см (обсерватория Йеркс, США)

1895 г., когда был построен крупнейший в мире рефрактор диаметром в 1 м (обсерватория Йеркс, США), не строили рефракторов еще большего размера. Крупнейший в СССР рефрактор (Пулковская обсерватория) имеет диаметр 650 мм.

РЕФЛЕКТОРЫ

Зеркала рефлекторов обычно делают параболическими, поскольку такое зеркало собирает лучи, идущие параллельно оси, в одну точку, т. е. без аберраций.

В крупных телескопах кассету или небольшой спектрограф можно установить непосредственно в главном фокусе телескопа. У самых больших телескопов диаметр



ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА РЕФЛЕКТОРОВ: а — система с параболическим зеркалом, в которой используется главный фокус; б — система Ньютона; в — система Грегори; з — система Кассегрена; д — система Несмита; е — система «кудэ»; ж — система главного фокуса с корректором Росса; з — система Шварцшильда; и — система Ричи — Кретьена

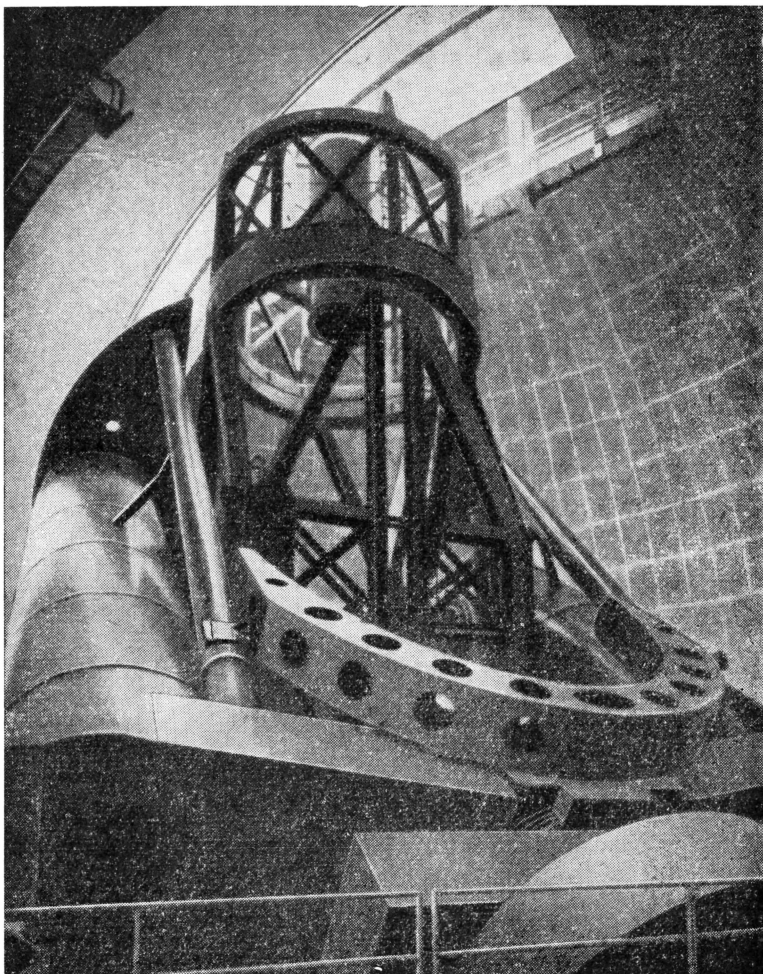
ром 3 м (Ликская обсерватория, США), 5 м (Паломарская обсерватория, США) и у строящегося в СССР 6-метрового рефлектора в верхней части трубы размещаются кабины, где находятся наблюдатель и светоприемная аппаратура.

Однако небольшой простейший телескоп-рефлектор только с одним параболическим зеркалом не удобен в обращении, так как наблюдатель при визуальных наблюдениях вынужден помещать голову в пучок лучей, заслоняя зеркало. Еще Ньютон предложил установить на пути лучей, сходящихся в главном фокусе, наклонное (диагональное) плоское зеркало, отражающее лучи к стенке трубы телескопа — туда, где легко укрепить окуляр и удобно наблюдать. Такой телескоп называется рефлектором системы Ньютона. Диагональное зеркало, конечно, экранирует часть лучей, падающих на главное зеркало, но потери света при этом невелики и с ними приходится мириться.

Рефлектор системы Ньютона — не единственный возможный тип зеркальных телескопов. В современных рефлекторах, кроме главного параболического зеркала, применяются дополнительные зеркала и даже линзы. Зеркала не только направляют пучок лучей в удобное для наблюдателя место, но и удлиняют фокусное расстояние телескопа, а линзы улучшают качество изображения,

даваемое зеркальной системой. В системе Грегори фокусное расстояние главного зеркала увеличивается с помощью дополнительного вогнутого эллиптического зеркала, которое устанавливают позади главного фокуса. Один фокус эллиптического зеркала совмещен с фокусом главного зеркала, во втором получается изображение. В системе Кассегрена используется дополнительное выпуклое гиперболическое зеркало. Оно помещается перед главным фокусом, при-

чем один его фокус совмещен с фокусом главного зеркала, во втором получается изображение. В обеих системах главное параболическое зеркало имеет в центре отверстие, через которое дополнительное зеркало переносит изображение из главного фокуса в плоскость, находящуюся за оправой главного зеркала. Сходимость лучей и светосила при этом уменьшаются, но фокусное расстояние и масштаб изображения увеличиваются. Система Кассегрена более компактна, и



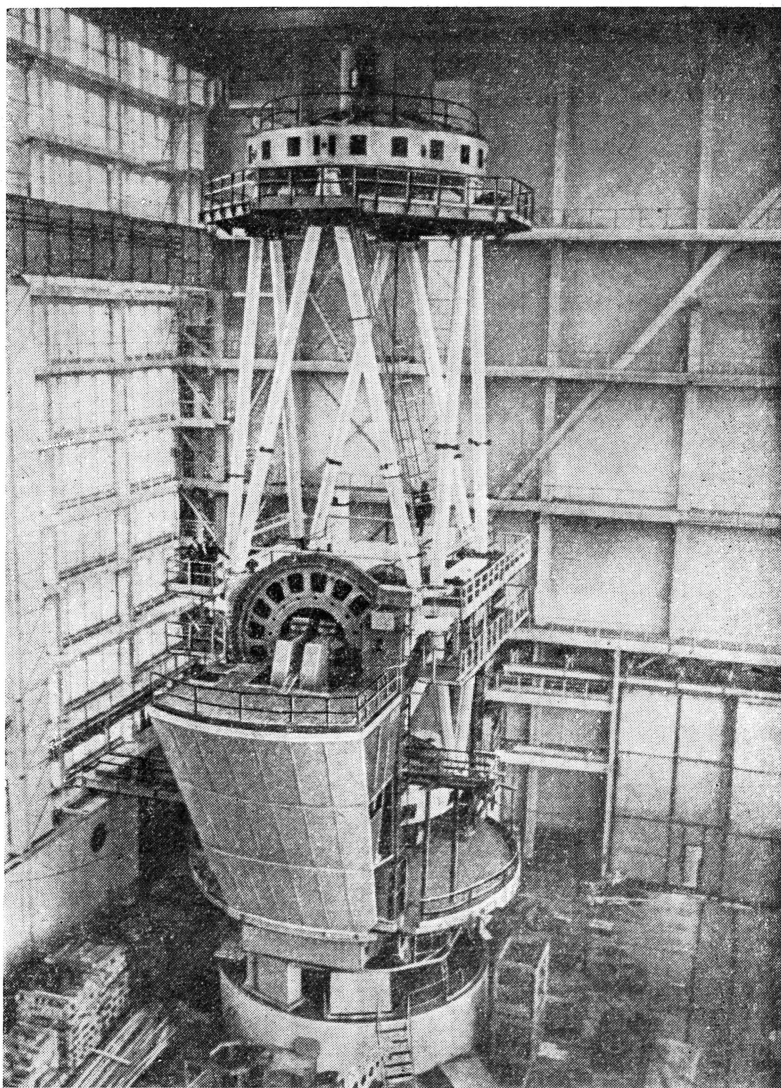
РЕФЛЕКТОР с диаметром 5 м, установленный в Паломарской обсерватории

**КРУПНЕЙШИЙ В МИРЕ РЕ-
ФЛЕКТОР с диаметром 6 м,
строющийся в Советском Союзе
(вид в цехе завода)**

потому применяется почти во всех современных телескопах, предназначенных, главным образом, для спектральных исследований и электрофотографии.

Иногда бывает удобно отразить с помощью плоского зеркала лучи света, идущие от дополнительного (касегреновского) зеркала, к стенке трубы и вывести их наружу в направлении оси склонений. Такая схема называется системой Несмита. Очень большие современные спектрографы невозможно закрепить на подвижном телескопе; их устанавливают стационарно в условиях постоянной температуры. Для этого свет исследуемой звезды, собранный главным параболическим зеркалом и отраженный вторичным выпуклым гиперболическим зеркалом, направляется одним или несколькими вспомогательными плоскими зеркалами в полую полярную ось телескопа, вокруг которой инструмент поворачивается, следя за суточным вращением небесной сферы. Такая схема называется системой «кудэ» (по-французски «кудэ» означает коленчатый). Положение фокальной плоскости в системе «кудэ» остается неподвижным при любых поворотах телескопа. Эта система очень удобна и применяется во всех больших современных телескопах.

В крупных рефлекторах используется не одна какая-либо оптическая схема. Сменяя выпуклые дополнительные зеркала Кассегрена и



плоские зеркала, можно на одном и том же телескопе последовательно работать в главном фокусе, в фокусах Ньютона, Кассегрена, Несмита или «кудэ».

Одиночное параболическое зеркало или параболическое зеркало в паре с гиперболическим дают хорошее изображение только на оптической оси. К краю поля зрения изображение быстро пор-

тится из-за комы и астигматизма. Чем светосильней система, тем это заметней. Для увеличения полезного поля рефлектора в 1935 г. Ф. Э. Росс предложил специальную линзовую систему, устанавливаемую перед главным фокусом телескопа. Размеры этих линз сравнительно небольшие. Такая система, не меняя фокусного расстояния телескопа, ис-

правляет кому и увеличивает полезное поле зрения телескопа. Впервые примененная в 5-метровом рефлекторе обсерватории Маунт Паломар, эта линзовая система увеличила диаметр поля с 3' до 15'.

В 1905 г. К. Шварцшильд разработал новую систему телескопа, в котором главное зеркало имеет форму вогнутого гиперboloида, а дополнительное — эллипсоида. В такой системе кома отсутствует. Более совершенную систему предложили Г. Ричи и Г. Кретьен. В телескопе системы Ричи—Кретьена главное зеркало является вогнутым, а вторич-

ное — выпуклым гиперboloидами. Для увеличения поля перед фокусом устанавливается линзовый корректор. В телескопе Ричи—Кретьена исправлены сферическая aberrация, кома и астигматизм. По этой схеме сейчас строится много телескопов, их поле зрения достигает 30' при относительном отверстии около 1:8. Но чтобы работать в главном фокусе такого телескопа, приходится прибегать к сложным линзовым корректорам.

В 1923—1924 гг. Д. Д. Максудов создал общую теорию двухзеркальных телескопов и предложил несколько новых оптических схем, исправ-

ляющих кому. По схеме Д. Д. Максудова в 1941 г. был построен рефлектор с диаметром 0,4 м, установленный в Бюраканской астрофизической обсерватории. Такие системы получили название апланатических.

Хотя для увеличения поля зеркальные телескопы и снабжаются линзовыми корректорами, тем не менее их принято называть рефлекторами: главным элементом в них продолжает оставаться зеркало, так как размеры линз значительно меньше размера главного зеркала.

(Продолжение в следующем номере)

СТРАНИЧКИ НАБЛЮДАТЕЛЯ — СТРАНИЧКИ НАБЛЮДАТЕЛЯ — СТРАНИЧКИ НАБЛЮДАТЕЛЯ

Наблюдайте переменные звезды!

В. П. ЦЕСЕВИЧ
профессор

Многие достижения звездной астрономии и астрофизики обязаны изучению переменных звезд. Сведения, доставляемые этими удивительными объектами, исключительно ценны для понимания тех процессов, которые сопровождают эволюцию звезд.

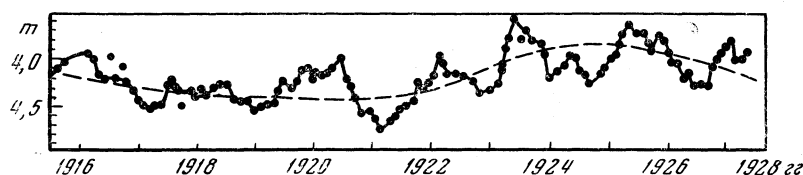
Переменность звезд — изменения их блеска — вызвана разнообразными причинами. Так, затменные звезды изменяют свой блеск в результате периодически повторяющихся затмений. Комплексное изучение затменно-двойной звезды дает возможность вычислить радиус, массу, светимость и среднюю плотность вещества каждого из компонентов тесной двойной системы. Кроме того, мы получаем важные данные о фигурах звезд, искаженных взаимным притяжением, и сведения о газовых потоках, которыми обмениваются оба компонента. Эти сведения чрезвычайно важны для понимания физической природы звезд вообще.

Вспыхивающие и вспышечные переменные звезды, блеск которых меняется чрезвычайно

быстро, — это молодые объекты, находящиеся в стадии становления. На ранних этапах развития (когда звезда еще не успела прийти в стационарное состояние) для звезды характерна сильная конвекция, сопровождающаяся бурными процессами перемешивания вещества. Магнитные явления, которые сопутствуют конвекции, вызывают иррегулярные вспышки, напоминающие взрывы. Недавно открытые и интенсивно изучаемые в настоящее время объекты такого рода являются также единственно ощутимыми источниками звездного радиоизлучения (за исключением, конечно, Солнца). Их исследование дает возможность изучить раннюю стадию развития звезды.

Те внутренние противоречия, которые возникают в недрах звезды большой светимости, часто проявляются в виде пульсационных движений во внешних слоях звезды. В результате изменяются объем, температура поверхностных слоев и блеск звезды, что особенно характерно для звезд-гигантов. Иссле-

КРИВАЯ ИЗМЕНЕНИЯ БЛЕСКА полуправильной переменной звезды μ Цефея. Сплошной линией и пунктиром показаны два из трех обнаруженных цикла изменения блеска этой звезды



дование таких объектов — цефеид, звезд типа α Кита и других — вскрывает причины, которые приводят, вообще говоря, к эволюции звезд-гигантов.

Наконец, те малые или грандиозные вспышки, имеющие характер взрыва, которые сопровождают возгорание новоподобной, новой или сверхновой звезды, позволяют проникнуть в последнюю стадию развития звезды, когда ее эволюция склоняется к закату.

Таким образом, переменные звезды — одно из мощнейших средств исследования звездного мира. В настоящее время известно свыше 20 000 переменных звезд. Естественно, проследить все те изменения, которые они претерпевают с течением времени, чрезвычайно трудно. И не случайно, что эта область астрономии — одна из самых благодатных областей приложения усилий многих исследователей. Переменные звезды изучаются весьма разнообразными методами. Наиболее точные измерения их блеска производятся фотоэлектрическим способом. Однако этот способ требует очень хорошего, сложного и дорогого оборудования. Измеряют блеск переменных звезд и на фотографических снимках, для чего фотографируют небо с экспозициями, близкими к 30 минутам или часу. Можно также производить наблюдения визуально, выполняя глазомерные оценки блеска. Конечно, точность визуальных наблюдений несколько ниже, однако они имеют ряд преимуществ и могут быть широко рекомендованы.

В чем преимущество визуальных наблюдений перед фотографическими? Во-первых, наблюдатель всегда может определить, когда следует чаще производить оценки блеска, чтобы точнее выявить закон его изменения. Во-вторых, эти наблюдения позволяют в течение одной ночи одновременно следить за самыми разнообразными объектами, часто расположенными в диаметрально противоположных областях неба. В-третьих, быстрые смены блеска короткопериодической звезды, особен-

но в том случае, когда амплитуда изменения блеска велика, доставляет наблюдателю эстетическое наслаждение. И, наконец, при удачно составленной программе наблюдений, получаемые результаты имеют несомненную научную ценность. Регулярные наблюдения переменных звезд любителем астрономии способствуют его становлению как астронома-наблюдателя. Многие из ведущих советских астрономов начинали свою исследовательскую деятельность с визуальных наблюдений переменных звезд. Архивы же наблюдений таких выдающихся наблюдателей, как члена-корреспондента АН СССР С. Н. Блажко, представляют исключительную ценность, которая, выражаясь фигурально, возрастает пропорционально квадрату протекшего промежутка времени с момента их выполнения.

Прежде чем начинать визуальные наблюдения переменной звезды, следует ознакомиться с ее окрестностями и выбрать звезды сравнения. Отыскать переменную звезду помогает карта окрестностей, которая особенно нужна в том случае, если переменная имеет слабый блеск и в звездном атласе не изображена. Отождествив переменную звезду и научившись быстро ее находить, наблюдатель выбирает по соседству звезды сравнения, которые не меняют своего блеска и не очень сильно отличаются от блеска переменной. После этого можно приступить к наблюдению.

Простейший способ оценки блеска предложил Э. Пиккеринг. Способ состоит в том, что наблюдатель выбирает две звезды сравнения: одну немного ярче переменной, а другую — слабее ее. Обозначим яркую звезду буквой A , более слабую звездой буквой B , а переменную — через V . Поочередно вглядываясь в звезды сравнения и переменную, делим мысленно интервал блесков $A - B$ на 10 частей и оцениваем, к какой звезде ближе блеск переменной. Разности блесков определяем в десятих долях интервала $A - B$. Затем записываем

наблюдения. Можно, например, получить оценку $A1V9B$, которая показывает, что разность блесков A и V составляет 0,1 разности блесков A и B . Если оценка выражается как $A2V8B$, то разность блесков A и V равна 0,2 от разности блесков A и B . Оценка $A5V5B$ означает, что блеск переменной равно отстоит от блесков звезд A и B . Аналогично могут быть получены оценки $A6V4B$, $A7V3B$, $A8V2B$, $A9V1B$. Во всех этих случаях переменная «ближе» по блеску к слабой звезде.

Получив оценки блеска, надо их вычислить. Для этого необходимо знать звездные величины звезд сравнения, а затем решить простую пропорцию. Если звездная величина звезды A соответствует m_A , а звезды B — m_B , то оценка $AaV(10-a)V$ вычисляется по формуле:

$$m_V = m_A + a \frac{m_B - m_A}{10}.$$

Пусть, например, мы наблюдали переменную звезду μ Цефея. Для оценки блеска мы использовали звезды сравнения ζ Цефея ($m_\zeta = 3,36$) и ν Цефея ($m_\nu = 4,29$). Пусть полученная оценка была равной $\zeta 4\mu 6\nu$. Тогда:

$$m_\mu = 3,36 + 4 \times 0,093 = 3,73.$$

Могут быть частные случаи, когда блеск переменной окажется равным блеску одной из звезд сравнения. Тогда и звездные величины у них одинаковы. Далее, при изменении блеска может случиться, что переменная станет слабее прежней звезды сравнения B . Тогда выбирают еще более слабую звезду сравнения C и сравнивают блеск переменной с блеском звезд B и C .

Из сказанного ясно, что наблюдение будет выполнено точнее, если интервал звездных величин между звездами сравнения будет как можно меньше. Не рекомендуется использовать такие пары звезд, у которых разность звездных величин больше 0,8.

После того как наблюдатель выполнил значительное количество наблюдений переменной звезды, он приступает к построению кривой изменения блеска. Для этого на горизонтальной оси откладывают моменты наблюдений. Масштаб выбирается в зависимости от характера переменности звезды. Если изменения блеска происходят медленно, то масштаб может быть мелким. На вертикальной оси откладывают звездные величины переменной звезды таким образом, чтобы блеск возрастал вверх (звездные величины убывали). Нано-

сят точки, и по ним проводят плавную кривую. На кривой блеска отмечают моменты максимума и минимума, а также звездные величины в максимуме и минимуме.

Рекомендуем вначале испытать свои силы на наблюдениях полуправильной переменной звезды μ Цефея. Эта знаменитая «гранатовая» звезда Гершеля как переменная известна уже очень давно. Ее блеск изменяется медленно от $3^m,5$ до $5^m,2$. Большие ряды наблюдений, выполненных в Днепропетровске профессором С. Шарбе и многочисленными советскими любителями, позволили автору установить характер переменности этой звезды. Оказалось, что колебания блеска представляются наложением трех волн. Одна волна имеет цикл (не точный период) 90 суток и малую амплитуду $0^m,1$. Более заметен другой цикл, составляющий приблизительно 600 суток с амплитудой около 1^m . Эти колебания наложены на еще более продолжительные, имеющие амплитуду около 1^m и период 4500 суток. Вскоре можно ожидать наступления следующего совместного минимума всех колебаний, когда μ Цефея почти скроется для невооруженного глаза.

μ Цефея — звезда-гигант спектрального класса $M\ 2$. В ее спектре видны полосы поглощения молекул окиси титана. Изменения блеска вызваны температурными изменениями: когда температура понижается, количество молекул окиси титана возрастает и поглощение энергии в оболочке звезды усиливается — блеск звезды временно ослабевает. В результате накопления поглощенной энергии внешние слои звезды разогреваются, молекулы окиси титана распадаются, оболочка звезды становится более прозрачной — блеск звезды усиливается. Это приводит к более богатому расходу лучистой энергии, а затем — и к охлаждению. Температура звезды падает, и все явления повторяются снова. Замечено также изменение поляризации света звезды μ Цефея, вызванное, по-видимому, рассеянием света молекулами окиси титана.

Наблюдения μ Цефея представляют научную ценность в том случае, если они выполняются в течение длительного промежутка времени. Наблюдения можно производить в бинокль и невооруженным глазом. Рекомендуем следующие звезды сравнения:

$$\zeta \text{ Цефея} = 3^m,36$$

$$\nu \text{ Цефея} = 4,29$$

λ Цефея	= 5 ^m ,04
α Ящерицы	= 3,77
ξ Цефея	= 4,29
ε Цефея	= 4,20
9 Цефея	= 4,75

Эти же звезды сравнения можно использовать и при наблюдениях переменной звезды δ Цефея, о которой мы подробно расскажем в следующем номере журнала.

НАБЛЮДАТЕЛЯМ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Современное состояние проблемы изучения переменных звезд, а также инструкции по наблюдению переменных звезд и обработке наблюдательных данных можно найти в следующих изданиях:

В. П. Цесевич. Маяки Вселенной, Киев, Изд. «Наукова Думка», 1968.

П. Г. Куликовский. Справочник любителя астрономии. М., Физматгиз, 1961.

В. П. Цесевич. Что и как наблюдать на небе. М., Физматгиз, 1963.

Метеоры в марте—апреле 1969 года

А. Н. СИМОНЕНКО

кандидат физико-математических наук

Холодное зимнее небо бедно метеорами. Весной небо пробуждается: каждую ночь можно наблюдать несколько метеорных потоков, в большинстве своем слабых и плохо изученных. Общее число метеоров редко поднимается выше 10. На фоне слабых потоков выделяются Виргиниды. Это не один, а несколько различных потоков медленных, иногда очень ярких метеоров с радиантами в созвездии Девы.

Во второй половине апреля наблюдаются Лириды. Это один из самых интересных потоков, неоднократно дававший замечательные звездные дожди. По разным летописям они уверенно прослеживаются более, чем на 2500 лет назад. Одним из последних был дождь в 1803 г. Между часом и тремя часами ночи 20 апреля его видели во многих восточных районах США. «Все небо казалось в огне от обилия ярких метеоров», — сообщали газеты.

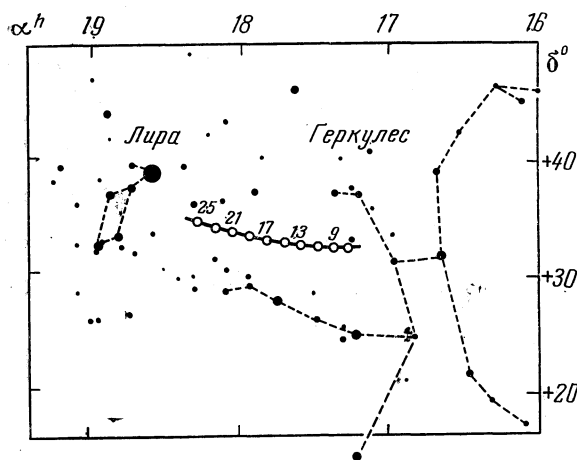
В 1922 г. дождь «прошел» 21 апреля около 20 часов всемирного времени в западных районах нашей страны, и особенно впечатляющим он был на Украине. Часовые числа превышали 2000, но максимум оказался очень коротким, продолжительность дождя была, по-видимому, менее часа.

Специальные наблюдения Лирид начали проводить в 40-х годах прошлого века, после того, как Э. Херрик определил их радиант.

Лириды — один из первых потоков, для которых была установлена связь с кометой-родоначальницей, а именно, с кометой 1861 I. Комета открыта в апреле 1861 г. Размеры ее орбиты огромны. Большая полуось — более 55 а.е., и комета затрачивает на один оборот 415 лет. Сейчас она уже далеко от Земли, а связанные с ней метеоры по-прежнему наблюдаются. Это не удивительно. Наблюдения дождей в течение 2500 лет свидетельствуют о том, что комета возвращалась к Солнцу, по крайней мере, 7 раз. Этого вполне достаточно для замыкания роя. Однако планетные возмущения не успели значительно расшатать рой, поэтому он очень тонкий.

Земля проходит место сближения с орбитой кометы около 21 апреля. Минимальное расстояние между орбитами Земли и кометы равно 300 000 км, так что наша планета обычно пересекает внешние, весьма разреженные области роя. Наблюдать можно всего 5—15 метеоров в час. Метеорные тела встречаются Землю в нисходящем узле орбиты. Они влетают в атмосферу со скоростью 49 км/сек и создают быстрые желтоватые метеоры, часто со следами. Наиболее молодые из тех, которые мы увидим в 1969 г., отделились от ядра кометы около 500 или даже 1000 лет назад.

Резкие усиления активности — дожди —



ДВИЖЕНИЕ РАДИАНТА ЛИРИД СРЕДИ ЗВЕЗД В АПРЕЛЕ. Только вблизи максимума активности радиант попадает в созвездие Лиры, а до этого находится в созвездии Геркулеса

случаются примерно через 30 лет по вине Сатурна. Дело в том, что орбита метеорного роя находится на очень малом расстоянии от орбиты Сатурна (примерно на 0,1 а.е.). Через каждые 29,5 лет Сатурн — этот гигант солнечной системы, проходя через место сближения орбит, отклоняет (возмущает)

ближайшую к нему часть роя. Одно из таких сближений Сатурна с роем произойдет как раз в 1969 г. Отклоненная Сатурном часть роя описывает почти всю орбиту и через 400 с лишним лет подходит к Земле. Она оказывается расположенной на некотором расстоянии от основной, невозмущенной части роя, и на большем расстоянии от Солнца, так что Земля погружается в плотные центральные части роя. В результате наблюдается дождь.

Из-за большого периода обращения ни один участок роя не наблюдался дважды, структура роя, его границы известны плохо, поэтому наблюдения потока особенно интересны. Ведь только через 400 с лишним лет вновь представится возможность наблюдать тот участок роя, который мы можем увидеть сейчас.

Утверждают, что Лириды наблюдаются с 7 по 26 апреля, давая максимум около 21 апреля. Весьма желательны наблюдения, поставленные с целью проверки продолжительности активности. Важно изучить и изменения численности метеоров при погружении Земли в рой и при выходе из него. Во время таких наблюдений нужно хорошо запомнить эфемеридное положение радианта среди звезд и тщательно отмечать метеоры, которые можно отнести к этому радианту (не забывая и метеоры фона!).

СОЗВЕЗДИЕ БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ

Каждый знает, что семь ярких звезд созвездия Большой Медведицы своим расположением напоминают ковш. Собственные имена этих звезд: α (1^m,8) — Дубхе, β (2^m,4) — Мерак, γ (2^m,4) — Фекда, δ (3^m,3) — Мегрец, ϵ (1^m,8) — Алиот, ζ (2^m,0) — Мицар, η (1^m,9) — Бенетнаш.

На старинных звездных картах это созвездие обычно изображалось в виде медведицы (см. на стр. 91 карту этого созвездия, заимствованную из «Атласа звездного неба» Я. Гевелия) или колесницы. Древние греки называли созвездие «Большой Медведицей» в честь нимфы Каллисто, которую ревнивая жена Зевса — Гера превратила в медведицу. Зевс, любивший Каллисто, воз-

нес ее на небо и увековечил в ярком созвездии.

Многие интересные объекты созвездия Большой Медведицы можно наблюдать в небольшие инструменты.

Двойные звезды. Около звезды Мицар (по-арабски — конь) невооруженным глазом видна звезда Алькор (по-арабски — наездник), звездная величина которой 4^m. Угловое расстояние между этими звездами составляет 709". При наблюдении в телескоп на угловом расстоянии 14",4 от Мицара замечен спутник 4-й звездной величины.

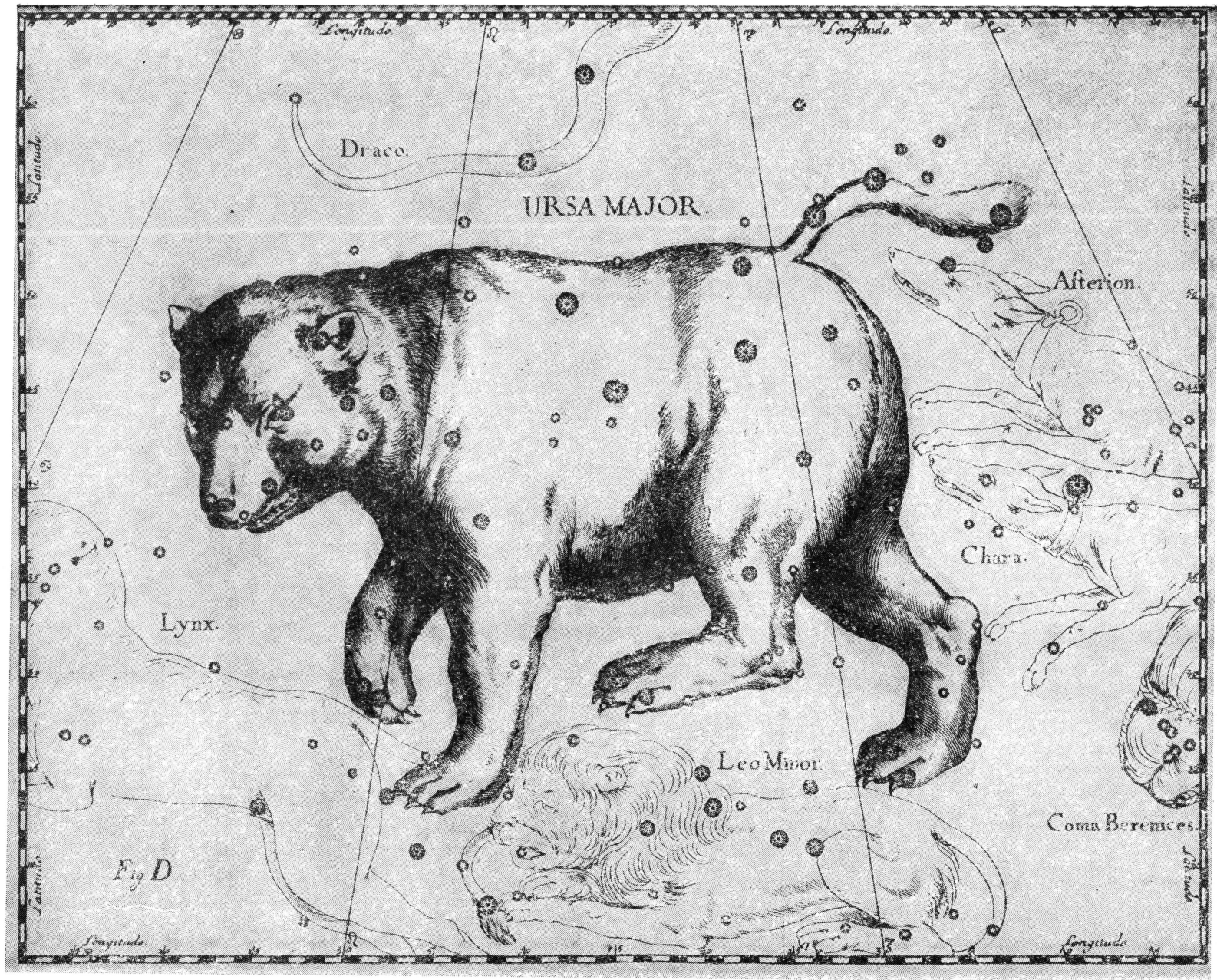
Компоненты тесной двойной системы ξ Большой Медведицы имеют звездные величины 4^m,4 и 4^m,9. Угловое расстояние между ними составляет 2",9. Расстояние до ξ Большой Медведицы 25 световых лет. Ее двойственность

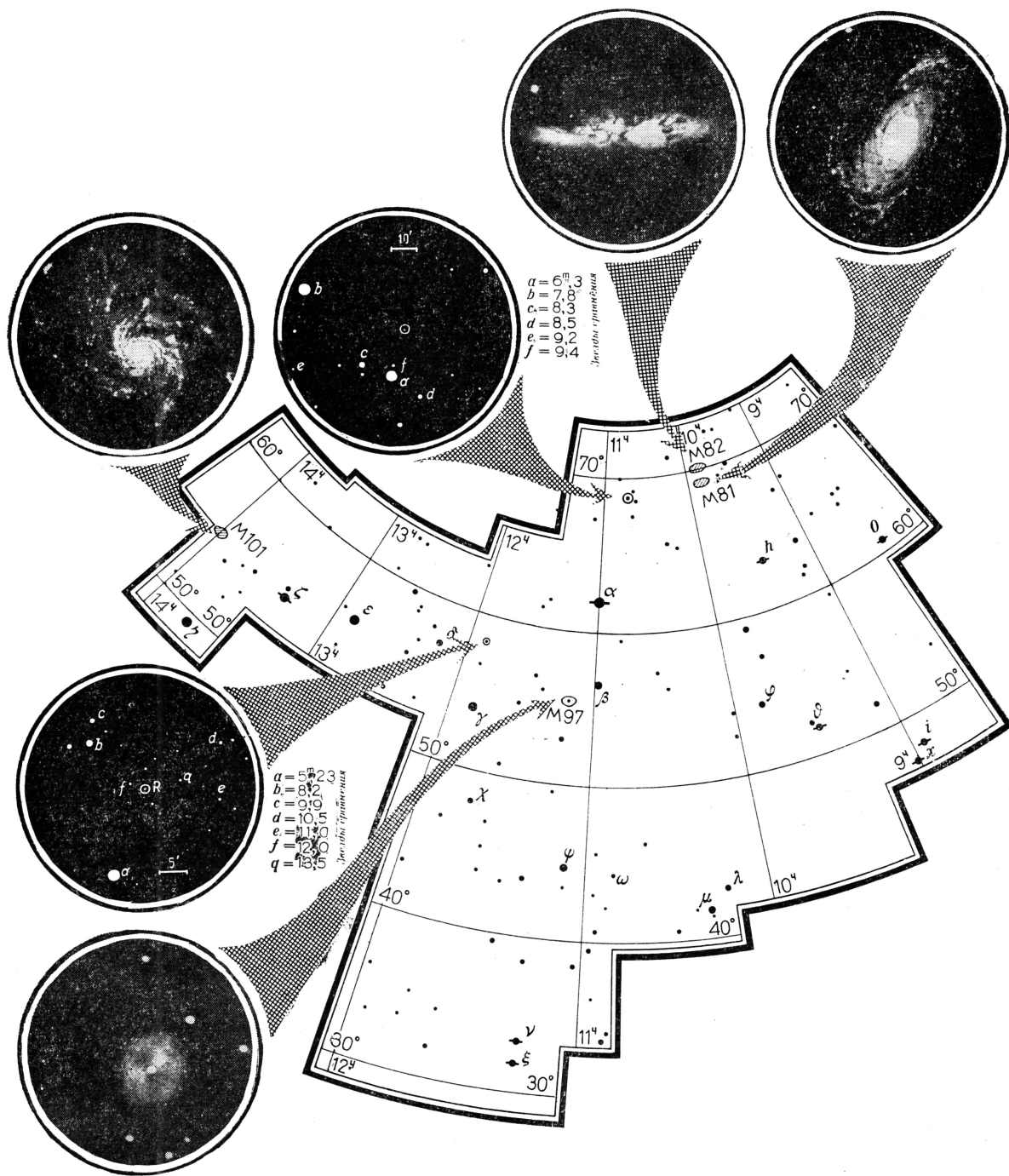
можно наблюдать в телескопы с диаметром не менее 80 мм и увеличением в 75 раз. Заметим, что каждая компонента ξ Большой Медведицы, в свою очередь, представляет собой спектрально-двойную систему с периодом обращения 669 и 4 суток.

Переменные звезды. R Большой Медведицы ($\alpha=10^h 41^m,1$; $\delta=69^\circ 02'$) — переменная звезда типа Миры Кита. Блеск ее изменяется от 6^m,7 до 13^m,4 с периодом 302 суток. Ближайший максимум блеска был 10 ноября 1968 г.

Z Большой Медведицы ($\alpha=11^h 53^m,9$; $\delta=58^\circ 09'$) — полуправильная переменная. Блеск ее колеблется между 6^m,6 и 9^m,1 с периодом 198 суток. Максимум блеска — 22 февраля 1969 г.

Галактики. Спиральная галактика NGC 3031 (M 81) имеет





СОЗВЕЗДИЕ БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ и интересные объекты в нем

координаты: $\alpha = 9^h 51^m, 5$; $\delta = -69^\circ 18'$. Видимая звездная величина ее $7^m, 0$ и угловые размеры $16' \times 10'$. Галактику можно наблюдать в телескопы с диаметром 50—70 мм и увеличением в 20 раз. На фотографии галактики, полученной на 5-метровом телескопе, видны темная материя, звезды сверхгиганты и яркие скопления звезд. В этой галактике обнаружены переменные звезды, а также наблюдались вспышки новых звезд.

Неправильная галактика NGC 3034 (M 82), координаты которой: $\alpha = 9^h 51^m, 9$; $\delta = -69^\circ 36'$, видимая звездная величина $8^m, 4$, а угловые размеры $7', 0 \times 1', 5$, расположена на $40'$ севернее галактики M 81. Обе галактики образуют двойную систему, удаленную от нас на 2300 пс. Ядро галактики M 82 очень активно. Полтора миллиона лет назад в этой галактике произошел гигантский взрыв, сопровождавшийся выбросом диффузной материи со скоростью 1000 км/сек, общая масса выброшенного вещества оценивается в 5,6 солнечной массы.

Спиральная галактика NGC 5457 (M 101) замечательна своим маленьким и очень ярким ядром. Координаты галактики M 101: $\alpha = 14^h 01^m, 4$; $\delta = 54^\circ 35'$; видимая звездная величина ее составляет $7^m, 9$, а угловой диаметр — $22'$. На фотографии галактики видны отходящие от ядра две основные спирали и образующиеся от них боковые. Наблюдать галактику можно в инструменты с диаметром 50 мм и увеличением в 10 раз.

Туманности. Планетарная туманность NGC 3587 (M 97) названа «Совой», так как изображение ее в телескопе похоже на голову совы. Координаты туманности: $\alpha = 11^h 12^m, 0$; $\delta = 55^\circ 18'$, звездная величина ее равна примерно 10^m , а угловые размеры $203'' \times 199''$. Центральная звездочка видна в телескопы с диаметром не менее 300 мм.

А. Д. МАРЛЕНСКИЙ
доцент
В. Ф. ЗАБОЛОТНЫЙ



КОСМИЧЕСКАЯ ФИЛАТЕЛИЯ

Радиоастрономия в филателии

Первая марка, посвященная радиоастрономическим исследованиям, была издана в Чехословакии в декабре 1957 г. Марка выпущена в связи с проходившим в то время Международным геофизическим годом. Тогда ученые многих стран, в том числе и чехословацкие ученые из обсерватории Онджейов, радиотелескоп которой изображен на первой «радиоастрономической» марке, проводили регулярные наблюдения Солнца.

В период Международного геофизического года в СССР вышла еще одна «радиоастрономическая» марка, посвященная радиолокационным наблюдениям метеоров.

На многих марках изображены радиотелескопы известных обсерваторий мира. Особенно часто на почтовых миниатюрах встречается изображение крупнейшего в мире 76-метрового параболического радиотелескопа обсерватории Джодрелл Бенк (Англия). Этот радиотелескоп мы видим на марках Венгрии, Канады, Уганды, Японии и других стран. И это не случайно. Интереснейшие научные эксперименты проводились с помощью радиотелескопа Джодрелл Бенк. Его использовали, например, как приемную систему при радиолокации Венеры, которую успешно осуществили в 1966 г. ученые Советского Союза в содружестве



с английскими радиоастрономами. В качестве передающей системы радиолокационного комплекса, разнесенного на расстояние 2000 км, работал передатчик Центра дальней космической связи в Крыму. Этот радиотелескоп изображен на оригинальной советской марке, напечатанной на алюминиевой фольге и изданной ко Дню космонавтики 1965 г.

Невидимая нить связывает марки с изображением радиотелескопа обсерватории Джодрелл Бенк и известную советскую марку, по-





священную АМС «Луна-2», которая доставила на поверхность Луны вымпел с Гербом нашей страны. Радиотелескоп обсерватории Джодрелл Бэнк вел наблюдения за АМС вплоть до ее встречи с Луной. Это было авторитетным научным доказательством исключительного достижения советской космонавтики.

На некоторых зарубежных марках показаны советские радиотелескопы. На одной из марок Монгольской Народной Республики, посвященной Международному году спокойного Солнца, изображен один из крупнейших в СССР параболический радиотелескоп с диаметром антенны 22 м, этот инструмент установлен в Серпухове на обсерватории Физического института АН СССР имени П. Н. Лебедева.

Другие марки знакомят с радиоастрономическими исследованиями, которые проводились по программе Международного года спокойного Солнца. Так, на советской марке, изданной в 1964 г., изображен параболический радиотелескоп с сетчатой антенной,

установленный в Крымской астрофизической обсерватории. Радиотелескоп направлен на Солнце и принимает его радиоизлучение. На двух польских марках показан на фоне обсерватории такой же радиотелескоп. Эти марки особенно эффективны. Благодаря удачно найденной пропорции создается впечатление захвата огромным параболическим зеркалом того невидимого потока радиоволн, которые излучает Солнце.

Радиоастрономия — это, прежде всего, детище радиотехники и радиоэлектроники. Вот почему одна из марок юбилейного почтового блока, посвященного 70-летию изобретения радио, рассказывает о радиоастрономии. На марке изображен параболический радиотелескоп и силуэт Пулковской обсерватории. Антенна радиотелескопа направлена на далекую Крабовидную туманность.

На всех описанных марках мы встречались лишь с параболическими радиотелескопами. Теперь предложим вниманию читателей весьма оригинальную и интересную французскую марку: на темном небе художник нарисовал пересеченную спиральную галактику, а на переднем плане — радиотелескоп с плоским зеркалом, установленный в Нансэй (Франция).

Любители «радиоастрономических» марок коллекционируют не только марки с изображением радиотелескопов, но и такие, где показаны космические объекты, которые изучают радиоастрономы. Поэтому сейчас стали особенно ценны марки астрономической серии, изданные в Мексике еще в 1942 г. Кстати, эти марки встречаются довольно редко, и филателист, имеющий их в коллекции, считает это большой удачей.

В. А. ОРЛОВ



Книги 1969 года о Земле и Вселенной

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА»

К началу учебного года выйдут вторым переработанным изданием учебник профессора К. А. Куликова «Курс сферической астрономии» и третьим изданием учебник профессора Б. М. Шоголева «Математическая обработка наблюдений».

Готовится к выпуску ряд научных монографий. Выходит пятая книга серии «Проблемы теоретической астрофизики» — В. В. Иванов «Перенос излучения и спектры небесных тел», посвященная теории многократного рассеяния света в газе и ее применениям в астрофизике.

В небольшой монографии М. У. Сагитова «Постоянная тяготения и масса Земли» излагается теория различных способов определения постоянной тяготения, массы и средней плотности Земли, описывается применявшаяся аппаратура.

Книга профессора К. А. Куликова «Новая система астрономических постоянных» дополняет ранее изданную монографию того же автора «Фундаментальные постоянные астрономии».

Продолжается выпуск сборников «Историко-астрономические исследования». В очередной, десятый выпуск включена статья Б. А. Розенфельда и М. М. Рожанской, посвященная «Канону Мас'уда», статья В. Л. Ченакала о влиянии открытий Галилея на утверждение ге-

лиоцентрической системы в России, а также другие статьи и материалы.

Книга «Пульсирующие звезды», написанная коллективом авторов под редакцией профессора Б. В. Кукаркина, открывает новую серию «Нестационарные звезды и методы их исследования».

Предусмотрен выпуск четвертым изданием завоевавшего широкую известность и переведенного на несколько языков «Справочника любителя астрономии» П. Г. Куликовского. Текст «Справочника» тщательно пересмотрен автором, дополнен современными данными, расширен звездный каталог, в который включены звезды до 4,5-й звездной величины.

Как и обычно, в октябре 1969 г. появится в книжных магазинах Астрономический календарь на 1970 год.

Научно-популярная книга М. М. Дагаева «Наблюдения звездного неба» поможет читателю ориентироваться в созвездиях и отыскивать на небе наиболее интересные объекты, доступные наблюдениям в самодельные телескопы. На более подготовленных читателей рассчитаны книги К. А. Гильзина «Электрические межпланетные корабли» и М. Миннарта «Свет и цвет в природе», выходящие вторыми изданиями. Первая из этих книг получила премию на Всесоюзном конкурсе на лучшую научно-популярную книгу.

Интересна книга В. Г. Демина «Судьба солнечной систе-

мы» — первое в мировой научно-популярной литературе доступное изложение проблемы устойчивости солнечной системы и некоторых других вопросов небесной механики.

На подготовленного читателя (студентов, преподавателей, лекторов, специалистов смежных областей) рассчитана популярная монография коллектива авторов «Внеземные цивилизации», выходящая под редакцией профессора С. А. Каплана. В ней рассматриваются проблемы поиска сигналов внеземных цивилизаций, задачи дешифровки неизвестных текстов, вопросы прогнозируемости эволюции цивилизации и ряд других интересных проблем.

В серии «Популярные лекции по астрономии» выпускаются книги Ю. И. Витинского «Солнечная активность» и Ф. Ю. Зигеля «Малые планеты».

И. Е. РАХЛИН
заведующий редакцией
астрономической литературы
издательства «Наука»

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «МИР»

Проблемы исследования космоса и геофизические проблемы будут представлены несколькими книгами, в основном рассчитанными на подготовленных читателей. Книга Р. Джейрама «Масс-спектрометрия. Теория и приложения» знакомит читателя с масс-спектрометрическими методами определения состава верхней атмосферы.

В монографии Р. Кейдла «Твердые частицы в солнечной системе и космосе» рассмотрена роль мелкодисперсного пылевого вещества в атмосфере и космическом пространстве.

Две книги посвящены возможностям, которые открыли перед геодезией и гравиметрией запуски искусственных спутников Земли. Небольшая книга У. Каулы «Спутниковая геодезия. Теоретические основы» рассказывает, как используются искусственные спутники для определения формы и размеров Земли, а также других планет и спутников солнечной системы. Книга «Стандартная Земля. Геодезические параметры Земли на 1966 г.» под редакцией К. Ландквиста и Дж. Вейса содержит результаты многих тысяч наблюдений искусственных спутников, позволяющих получить наиболее надежные значения размеров и сжатия Земли.

Одной из наименее изученных областей воздушного океана посвящена книга В. Уэбба «Структура стратосферы и мезосферы». В ней дан систематизированный обзор полученных в последние годы весьма ценных данных о слоях атмосферы на высотах между 30—80 км.

«Удивительные свойства света» — так называется популяр-

ная книга профессора Лондонского университета С. Толанского. Читатель узнает о чудесах «мира света», поразительных по своей красоте и необычности.

Астрономическая литература в 1969 г. представлена книгой супругов Бербидж «Квazarы». Это — репортаж с переднего края науки об одном из наиболее выдающихся и еще не до конца понятом открытии.

Еще одна книга, несомненно, привлечет внимание читателей. Это — «Внутреннее строение звезд» — сокращенный перевод V тома известной серии «Звезды и звездные системы». В главах, написанных крупнейшими зарубежными астрофизиками, подробно рассмотрены ядерные процессы в звездах и модели звезд, большое внимание уделено происхождению химических элементов и поздним стадиям эволюции звезд.

Солнцем и солнечным излучением сейчас интересуются астрономы, геофизики, радиоинженеры, врачи, геологи, океанографы, психологи. Одним нужны данные о корпускулярных потоках, испускаемых Солнцем; других интересует постоянство солнечного излучения; третьих — коротковолновое излучение нашего светила; четвертых — данные о периодичности вспышек. Всем им помо-

жет книга видного американского специалиста Г. Зиррина «Солнечная атмосфера». Полнота изложения здесь удачно сочетается с высокой научностью и обильным языком. Книга превосходно иллюстрирована.

Книга М. Гринберга «Межзвездные частицы» посвящена той материи в межзвездном пространстве, которая вызывает поглощение света и, быть может, служит исходным материалом для образования звезд и планет.

В статьях сборника «Возникновение органического вещества в солнечной системе» сообщается о находках органических веществ в метеоритах углистых хондритах и содержится интерпретация этих находок.

Имя выдающегося американского фантаста и популяризатора Айзека Азимова хорошо известно многим читателям. В 1969 г. выйдет его новая книга «Вселенная. От плоской Земли до квазаров». Автор рассказывает о звездах и планетах, туманностях и галактиках, о разбеганиях галактик, о квазарах и космических лучах.

Л. В. САМСОНЕНКО
зам. заведующего редакцией
«Астрономия» издательства
«Мир»

Орган секции физико-технических и математических наук
Президиума Академии наук СССР
и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук И. А. ХВОСТИКОВ
Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН
Кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, доктор техн. наук
А. А. ИЗOTOV, кандидат физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, кандидат
физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦ-
КИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук
Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, кандидат физ.-мат. наук
И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, доктор
геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук
В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор
техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

При перепечатке ссылка на журнал «Земля и Вселенная» обязательна

Научно-популярный журнал
«ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Адрес редакции: Москва,
В-333, Ленинский пр.,

д. 61/1

Тел. 135-64-81
135-63-08



Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

Корректоры: А. М. Балунева,
Г. Н. Нелидова

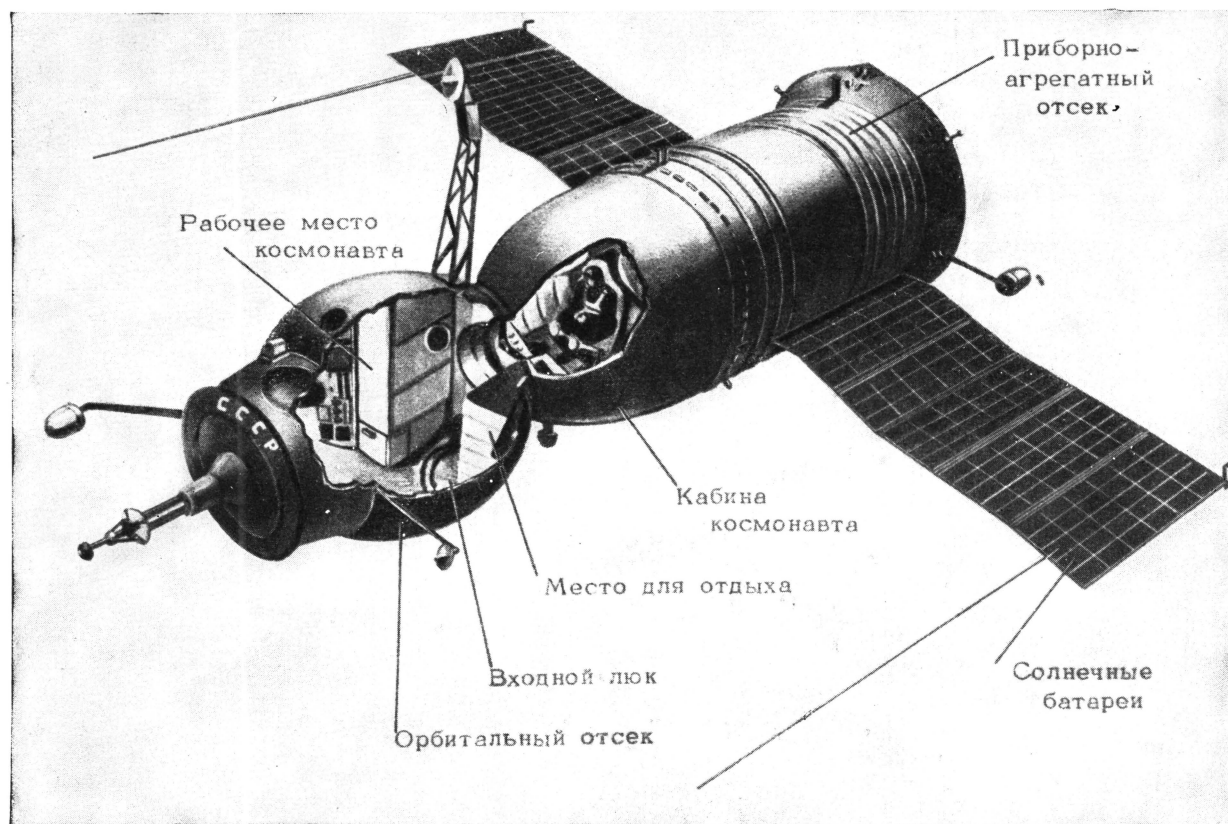
Т-00908. Сдано в набор 30/X 1968 г.
Подписано к печати 7/1 1969 г.
Формат бум. 84×108¹/₁₆. Печ. л. 6,0
(10,08). Уч.-изд. л. 9,8 + 2 вкл.
Тираж 39 000 экз. Заказ № 1258.
Цена 30 коп.

2-я типография издательства «Наука», Москва, Г-99, Шубинский пер., д. 10.

Космический корабль «Союз-3»

51-я годовщина Великого Октября была ознаменована успешным полетом беспилотного космического корабля «Союз-2» и космического корабля «Союз-3», пилотируемого летчиком-космонавтом СССР Георгием Тимофеевичем Береговым. В ходе четырехсуточного полета корабля «Союз-3» осу-

ществлялось многократное маневрирование, для которого применялись автоматическая и ручная системы управления. Сделан новый шаг в области совершенствования маневрирующих пилотируемых кораблей и создания орбитальных станций.



Космический корабль «Союз-3».

Фотохроника ТАСС

Рисунок поясняет общее устройство советского космического корабля. Корабль «Союз» состоит из трех основных отсеков.

орбитальный отсек, расположенный в передней части корабля и являющийся научной лабораторией, где космонавт проводит научные исследования и отдыхает;

кабина космонавта — спускаемый аппарат, предназначенный для выведения экипажа на орбиту и возвращения на Землю;

приборно-агрегатный отсек, в котором размещаются аппаратура и оборудование основных систем корабля и двигательные установки.

Цена 30 коп.

Индекс 70336



Издательство



«Наука»